Von dieser Zeitschrift erscheinen jährlich 24 Nummern in 30 bis 36 Bogen und 24—30 Blättern Zeichnungen. — Bestellungen nehmen alle Buchhandlungen des In- und Auslandes an. Der halbe Jahrgang kostet 3 fl. C. M., der ganze Jahrgang 6 fl., mit Postversendung 6 fl. 36 kr. C. M.

Zeitschrift des österreichischen Ingenieur-Vereines.

IX. Jahrgang.

№ 13. u. 14. Wien, im Juli. 1857.

Berechnung der Dampfmaschinen auf Grundlage eines neuen allgemeinen Gesetzes der Abhängigkeit zwischen Spannung, Temperatur und Dichte beim Wasserdampfe.

Einleitung.

Erklärung. Unter Dampfmaschine im weitesten Sinne versteht man jede Vorrichtung, mittelst welcher die dem gebildeten Dampfe innewohnende Wirkungsfähigkeit zu irgend einer mechanischen Arbeit verwendet werden kann.

Im engeren Sinne jedoch nennt man nur jene Vorrichtungen Dampfmaschinen, durch welche mittelst Wasserdampf regelmäßige, entweder continuirliche oder periodisch wiederkehrende Bewegungen hervorgebracht werden, um irgend eine Arbeit oder mechanische Veränderung zu erzeugen.

Eintheilung. Die Dampfmaschinen werden bekanntlich, je nachdem die Thätigkeit derselben continuirlich oder periodisch wiederkehrend ist, d. h. je nachdem die primitive Bewegung continuirlich rotirend oder abwechselnd hin und hergehend ist, in Rotations- und Kolben-Maschinen eingetheilt; bei ersteren wirkt der Dampf in der Regel auf einen oder mehrere Flügel, die sich in einem luftdicht verschlossenen cylindrischen oder sphärischen Gehäuse stets nach einerlei Richtung bewegen; bei letzteren dagegen auf einen luftdicht in einem Cylinder sich hin und her bewegenden Kolben.

Hier sollen nur die Kolbenmaschinen, als fast ausschließlich gebräuchlich, in Betracht kommen.

Die Eintheilung der Kolbenmaschinen ergibt sich nach der Wirkungsweise des Dampfes auf den Kolben.

a) Einfachwirkende, wenn der Dampf stets nur unter den Kolben geleitet wird, um ihn zu heben, und das Niedergehen desselben durch ein Gegengewicht bewirkt wird, oder umgekehrt. Wird der Dampf, nachdem er den Kolben gehoben, condensirt und die Rückbewegung durch den Luftdruck erzeugt, so heißt die Maschine eine atmosphärische.

b) Doppeltwirkende, wenn der Dampf abwechselnd unter und über den Kolben tritt, um ihn auf und ab zu bewegen.

c) Maschinen mit und ohne Condensation, je nachdem der Dampf nach vollbrachter Wirkung auf den Kolben in ein mit kaltem Wasser umgebenes Gefäß (Condensator) abgeleitet und dort condensirt wird, oder frei in die Atmosphäre ausströmet.

d) Maschinen mit und ohne Expansion. Bei ersteren wird der Dampfzufluß in den Cylinder abgesperrt bevor der Kolben seinen Lauf vollendet hat, so daß die weitere Kolbenbewegung durch die Expansionskraft des im Cylinder abgesperrten Dampfes erfolgen muß; bei letzteren strömt der Dampf während des ganzen Kolbenschubes in den Cylinder.

Ferner gibt es Nieder-, Mittel- und Hochdruck-Maschinen, je nachdem zum Betrieb derselben Dämpfe von niederer, mittlerer oder hoher Spannung verwendet werden.

Nach ihrer Verwendung sind endlich die Dampfmaschinen feststehende (stationäre), und sich fortbewegende (Schiffsmaschinen und Locomotive).

Die wissenschaftliche Behandlung der Dampfmaschinen zerfällt:

I. in die Kenntniß der Physik der Wärme und des Wasserdampfes,
II. in die Theorie der Dampfmaschinen, oder in die Berechnung des Nutzeffectes derselben,
III. in die Bestimmungen für die Construction der Anlage und zwar:
a) jener der Feuerung, und b) jener der Maschine.

I.

Physik der Wärme und des Wasserdampfes.

a) Wärme.

§. 1. Ausdehnung der Körper durch Aenderungen des Wärmegrades ist für verschiedene Körper verschieden, und hängt bei demselben Körper oft noch von mancherlei Umständen ab, wie z. B. von dem ursprünglichen Wärmegrade, bei Gasen und Dämpfen auch noch von dem Drucke, unter welchem sie sich befinden u. s. w.; doch kann dieselbe für alle Gase gleich, und dem Volumen nach $= 0{\cdot}00367\,t$ angenommen werden, wenn t die Temperaturzunahme bedeutet; nur scheint dieselbe für Dämpfe etwas größer zu sein, und es dürfte für diese der Gay-Lussac'sche Coefficient 0·00375 der Wahrheit näher liegen. Uebrigens ist für Gase dieser Coefficient so gut als unabhängig von der ursprünglichen Temperatur.

Regnault gibt für mehrere ausdehnsamflüssige Körper die Ausdehnungscoefficienten wie folgt an:

	Gemessen bei gleichem Druck.	Berechnet aus der Spannkraft bei gleichen Volumen.
Atmosphärische Luft...	0·00367	...... 0·003665
Wasserstoff.........	0·003661	...... 0·003667
Stickstoff..........	0·00367	...... 0·003668
Kohlenoxyd.........	0·003669	...... 0·003667
Kohlensäure........	0·00371	...... 0·003688
Schweflige Säure....	0·003903	...... 0·003845
Cyangas...........	0·003877	...... 0·003829.

§. 2. Bei flüssigen Körpern ist, wie bei Gasen, der Ausdehnungscoefficient für die Volumsveränderung k' bei einer Temperaturerhöhung um 1^{0} zu verstehen, und ist:

für Wasser....... 0·0004775
„ Weingeist..... 0·001111
„ Quecksilber.... 0·000183.

§. 3. Bei festen Körpern ist nur innerhalb nicht zu weiter Grenzen, und nur in so weit, als die Temperatur nicht jener zu nahe kommt, bei welcher eine Aenderung des Aggregatszustandes eintritt, die Ausdehnung der Temperaturänderung proportional; so ist der lineare Ausdehnungscoefficient für nachstehende feste Körper und für 1° Celſ.:

Blei	0·0000287	Messing gegossen	0·00001866
Bronce	0·00001826	Stahl gehärtet	0·00001875
Schmiedeeisen	0·00001115	„ ungehärtet	0·00001079
Gußeisen	0·00001109	Zink gegossen	0·00003051
Eisendraht	0·0000114	Zinn	0·00002281
Kupfer gehämmert	0·00001784		

Bezeichnet α den Ausdehnungscoefficienten oder die lineare Ausdehnung eines Stabes von der Länge $= 1$ bei einer Temperaturzunahme von 1° Celsius, so wird bei Erhöhung der Temperatur um t^0 die Länge L übergehen in $L(1+\alpha t)$, und die Längenausdehnung $L\alpha t$ betragen.
die Fläche F übergehen in $F(1+\alpha t)^2 = F(1+2\alpha t)$, und die Flächenausdehnung $= F(2\alpha t)$ betragen,
das Volum V übergehen in $V(1+\alpha t)^3 = V(1+3\alpha t)$, und die Volumvergrößerung $= V(3\alpha t)$ betragen.

§. 4. Das Schwindmaß ist die lineare Zusammenziehung der Körper bei dem Uebergange aus dem flüssigen in den festen Zustand. Die Kenntniß dieser Größe ist für die richtige Anfertigung der Gußmodelle wichtig; dasselbe beträgt für:

Gußeisen	$^1/_{96}$,
Messing	$^1/_{65}$,
Glockenmetall	$^1/_{65}$,
Kanonenmetall	$^1/_{134}$
Zink	$^1/_{62}$,
Blei	$^1/_{92}$,
Zinn	$^1/_{128}$.

§. 5. Als Wärmeeinheit dient bekanntlich jene Wärmemenge oder deren Wirkung, welche die Temperatur von 1 Pfund Wasser um 1° Celsius erhöhet.

§. 6. Specifische Wärme der Körper heißt die Anzahl Wärmeeinheiten, welche die Temperatur von einem Pfund des betreffenden Körpers um 1° C. erhöhen. Dieselbe ist den Versuchen von Regnault zufolge fast ganz unabhängig von der Temperatur, und für verschiedene Substanzen, nach Regnault's Versuchen, folgende:

Benennung der Substanz	specifische Wärme	Benennung der Substanz	specifische Wärme
Anthracit	0·2010	Alkohol gem.	0·6588
Blei	0·0314	Quecksilber	0·0333
Coaks	0·2031	Wasser	1· —
Eisen	0·1138	Atmosphär. Luft	0·2370
Holz — Tanne	0·6000	Wasserstoffgas	3·4046
Holzkohle	0·2415	Kohlensäure	0·2164
Kupfer	0·0951	Sauerstoff	0·2182
Messing	0·0939	Stickstoff	0·2440
Stahl	0·1185	Kohlenoxydgas	0·2479
Thonerde gebrannt	0·1850	Wasserdampf	0·4750
Zink	0·0955	Aetherdampf	0·4810
Zinn	0·0562		

Die genaue Kenntniß der specifischen Wärme der Körper ist für die Anwendung sehr nützlich, wie folgende Beispiele zeigen:

1) Wie viel Wärmeeinheiten sind nothwendig, um einen Dampfkessel, dessen Gewicht 2400 Pfd. beträgt, und der 80 Cubikschuh Wasser von 10° C. enthält, auf 100° zu erwärmen? Das Wasser um 90° zu erhöhen, erfordert $80 \times 56·5 \times 90 = 406\,800$, und den Kessel um 90° zu erhitzen $2400 \times 0·1138 \times 90 = 24\,580$, also zusammen 431 380 Wärmeeinheiten.

2) Wie viel Wärmeeinheiten erhöhen 10 Pfund Luft von 0° auf eine Temperatur von 1200°? — $10 \times 0·237 \times 1200 = 2844$ Wärmeeinheiten.

§. 7. Die Heizkraft der Brennstoffe wird durch jene Wärmemenge gemessen, welche Ein Pfund des Brennstoffes beim vollkommenen Verbrennen in atmosphärischer Luft entwickelt.

Die für industrielle Zwecke zur Feuerung benützten Brennstoffe sind hauptsächlich: Holz, Holzkohle, Steinkohle, Coaks und Torf.

Der Kohlenstoffgehalt ist bei allen diesen Brennstoffen vorherrschend und beträgt mindestens 50 %. Die übrigen Bestandtheile sind vorzüglich: Wasserstoff, Sauerstoff und einige Procente anderer unorganischer Substanzen.

Der Sauerstoff erscheint meist in Verbindung mit einem entsprechenden Theile Wasserstoff als dem Körper mechanisch beigesetztes Wasser. Der Kohlenstoff und der freie Wasserstoff liefern, sich mit Sauerstoff verbindend, eine bestimmte Wärmemenge, und zwar gibt 1 Pfund Kohlenstoff zu Kohlensäure verbrannt 7050 Wärmeeinheiten, 1 Pfund Wasserstoff zu Wasser verbrannt 22125. Ist daher die chemische Zusammensetzung des Brennstoffes bekannt, so läßt sich die Heizkraft berechnen. Enthält 1 Pfund Brennstoff C % Kohlenstoff, H % Wasserstoff, O % Sauerstoff und A % Asche, so ist die Heizkraft

$$M = 7050\,C + 22125\left(H - \frac{O}{8}\right) = 7050\,C + 22125\,H - 2766.O$$

da $\frac{O}{8}$ Wasserstoff mit O Sauerstoff Wasser bilden, welches als solches schon in dem Brennstoffe enthalten ist.

Die chemische Zusammensetzung des Holzes ist fast constant $0·513\,C + 0·051\,H + 0·406\,O + 0·03\,A$, was eine Heizkraft $M = 3660$ gibt.

Englische Steinkohle hat im Mittel die Zusammensetzung $0·88\,C + 0·05\,H + 0·05\,O + 0·02\,A$, welche somit eine Heizkraft $M = 7140$ besitzt. — Die Heizkraft verschiedener Brennstoffe nach Morin ist:

Benennung des Brennstoffes	Heizkraft	Anmerkung
Vollkommen trockenes Holz	3660	0·03 Aschengehalt
Lufttrockenes Holz	2940	0·20 Wassergehalt 0·03 Aschengehalt
Holzkohle, trocken	7050	
„ ordinäre	6000	0·20 Wasser
Steinkohle 1. Qualität	7050	0·02 Aschengehalt
„ 2. „	6345	0·10
„ 3. „	5930	0·20
Braunkohle mittlerer Qualität	5400	
Coaks, rein	7050	
„ ordinär	6340	0·1 Aschengehalt
Torf, gewöhnlicher	1500	0·18
„ guter	3000	
Torfkohle	6300	
Kohlenwasserstoffgas	3675	
Baumöl	9040	
Talg	7186	
Weißes Wachs	9480	

§. 8. Die erforderliche Luftmenge zum vollkommenen Verbrennen von 1 Pfund Brennstoff geben folgende Betrachtungen.

C Gewichtstheile Kohlenstoff, vollkommen zu Kohlensäure verbrannt, benöthigen, da die chemische Zusammensetzung der Kohlensäure CO_2, und das Aequivalent des Kohlenstoffes gleich 6, jenes des Sauerstoffes gleich 8 ist, $\frac{2 \times 8}{6}$ C Gewichtstheile Sauerstoff; zum Verbrennen des Wasserstoffes zu Wasser dagegen 8H, weil die Zusammensetzung des Wassers HO, und das Aequivalent des Wasserstoffes gleich 1 ist. Man findet also die zum vollkommenen Verbrennen nöthige Sauerstoffmenge s, wenn die percentuale Zusammensetzung des Brennstoffes bekannt ist, durch folgende Formel:

$$s = 2 \cdot 66\, C + 8\left(H - \frac{O}{8}\right) = 2 \cdot 66\, C + 8\, H - O.$$

Da aber 1 Pfund atmosphärischer Luft blos 0·2094 Pfund Sauerstoff enthält, so ist s noch durch 0·2094 zu dividiren, um die fragliche Luftmenge L in Pfunden zu erhalten, und es ist somit

$$L = 12 \cdot 5\, C + 38 \cdot 2\, H - 4 \cdot 775\, O.$$

Diese Formel gibt die theoretische Luftmenge: in der Praxis nimmt man gewöhnlich das Doppelte hiervon.

Ein Pfund nachstehender Brennstoffe bedürfen zum vollkommenen Verbrennen folgende Luftmengen:

	theoretisch	praktisch	
Vollkommen trockenes Holz	6·5	13	Pfunde
Lufttrockenes Holz	5·4	10·8	„
Holzkohle	12·6	25·2	„
Steinkohle	11·1	22·2	„
Gewöhnlicher Torf	6·5	13	„
Coaks	12·6	25·2	„

Oder, da bei mittlerer Temperatur von 10° C. und dem Barometerstande von 28·8″ ein Cubikfuß atmosphärischer Luft 0·0714 Pfund wiegt, folglich auf 1 Pfund $\frac{1}{0 \cdot 0714} = 14 \cdot 2$ Cubikfuß zu rechnen sind, so geben obige Zahlen, durch 14·2 multiplicirt, die Luftmenge in Cubikfuß und es bedarf:

	theoretisch	praktisch	
Vollkommen trockenes Holz.....	92	184	Cubikfuße Luft
Lufttrockenes Holz	77	154	„ „
Holzkohle................	179	358	„ „
Steinkohle	158	316	„ „
Gewöhnlicher Torf..........	92	184	„ „
Coaks	179	358	„ „

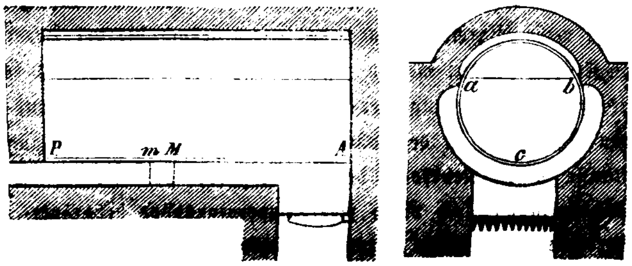
§. 9. Die Temperatur im Heizraume während der Verbrennung ergibt sich aus der in einer gewissen Zeit auf dem Roste verbrannten Menge, B Pfunde, des Brennstoffes. Ist die Heizkraft desselben M, d. h. entwickeln sich beim Verbrennen aus 1 Pfund des Brennstoffes M Wärmeeinheiten, so stellt das Produkt BM die in dieser Zeit erzeugte Wärmemenge dar. Sind ferner zur Verbrennung von 1 Pfd. Brennstoff L Pfunde Luft erforderlich, deren specifische Wärme $s = 0 \cdot 237$ ist und deren ursprüngliche Temperatur t während der Verbrennung auf T erhöhet wird, so ist zum Verbrennen die Luftmasse BL und zur Erhöhung auf die Temperatur T die Wärmemenge $B L s (T - t)$ offenbar erforderlich; also muß sein:

$$BM = B s L (T - t) \quad \text{oder} \quad T = \frac{M + L s t}{L s} = \frac{M}{L s} + t. \quad (1)$$

Die oben gefundenen Werthe für M, L, s zu Grunde gelegt und t im Mittel gleich 15° gesetzt, gibt für T bei den verschiedenen Brennstoffen nahe denselben Werth, nämlich $T = 1200°$.

§. 10. Das Verhältniß der in irgend ein mit Flüssigkeit erfülltes Gefäß eindringenden Wärme zu jener durch den Brennstoff entwickelten, wird nothwendig ein Maximum sein müssen.

Zur Vereinfachung der Rechnung dienen folgende Voraussetzungen: 1) habe die in dem Gefäße enthaltene Flüssigkeit durchaus die gleiche Temperatur t, welches auch nahezu der Fall ist; 2) sei die Temperatur in ein und demselben Querschnitte des Rauchcanals in allen Punkten stets von derselben Größe; obgleich in der Wirklichkeit die Temperatur unmittelbar an der Gefäßwand etwas kleiner sein wird; allein da der Querschnitt immer klein ist, so gibt obige Voraussetzung keinen erheblichen Fehler; 3) die in das Gefäß eindringende Wärmemenge sei genau der Berührungsfläche und der Temperaturdifferenz proportional, obwohl diese Annahme auch nicht genau richtig ist, denn die Wärmemenge nimmt etwas schneller zu als die Temperaturdifferenz. Ferner sei T die Temperatur der Gase an der Verbrennungsstelle und T′ jene in dem Kamine.



Obenstehende Figur stelle das Gefäß sammt Einmauerung dar; dabei sei die ganze Länge des Gefäßes $AP = l$, der Bogen acb mit den heißen Gasen in Berührung $= b$, also die Heizfläche $bl = F$, weiters $AM = x$ und $Mm = dx$, und im Querschnitte M die Temperatur $= y$, jene im Querschnitte m daher $y - dy$, sodann k die Wärmemenge, welche durch 1 Quadratfuß der Heizfläche in jeder Secunde bei einer Temperaturdifferenz von 1° C. in das Gefäß eindringt, und mL die Menge der in einer Secunde durch den Rauchcanal ziehenden Verbrennungsgase.

Durch die Fläche $b dx$ dringt also in einer Secunde eine Wärmequantität $b . dx . k (y - t)$ in das Gefäß ein, und wird offenbar den Verbrennungsgasen auf dem Wege dx entzogen, wodurch die Temperatur derselben um dy abnimmt, was auf die Relation

$$m L s\, dy = - b k (y - t)\, dx \quad \text{oder} \quad \frac{bk}{m L s}\, dx = - \frac{dy}{(y - t)} \text{ führt.}$$

Die Integration gibt $\frac{bk}{m L s} x = - \log (y - t) + C$, oder weil für $x = 0$, $y = T$ und für $x = l$, $y = T'$ ist, auch

$$\frac{b k l}{m L s} = \log \left(\frac{T - t}{T' - t}\right) \quad (1)$$

Aus (1) folgt $T' - t = (T - t)\, e^{-\frac{kF}{mLs}}$ und

$$T - T = T - t - (T - t) e^{-\frac{kF}{mLs}} = (T - t)\left(1 - e^{-\frac{kF}{mLs}}\right) \quad (2)$$

Die durch den Verbrennungsproceß erzeugte Wärmequantität ist $m L s (T - t) = W$ und die hiervon benützte $m L s (T - T') = W$ folglich das Verhältniß $\frac{W}{W'} = \frac{T - T'}{T - t'}$, und für $T - T'$ den Werth aus (2) eingeführt

$$\frac{W}{W'} = \frac{T - t}{T - t'}\left(1 - e^{-\frac{kF}{mLs}}\right) \quad (I$$

Nach einer früheren Bestimmung war $T = \frac{M}{Ls} + t'$ daher wird auch

$$\frac{W}{W'} = \left(1 - \frac{(t-t')Ls}{M}\right)\left(1 - e^{-\frac{kF}{mLs}}\right) = \left(1 - \frac{t-t'}{1200}\right)\left(1 - e^{-\frac{kF}{mLs}}\right). \text{(II)}$$

Nach Gleichung (II) wird somit das Verhältniß $\frac{W}{W'}$ um so größer, je größer das Verhältniß $\frac{F}{m}$, d. h. je größer die Heizfläche gegen die Brennstoffmenge ist, welche in jeder Secunde auf dem Roste verbrannt wird.

Für Steinkohlenfeuerung ist im Mittel $M = 6500$ $L = 22$, $t = 140^0$, $s = 0{\cdot}237$, und für Gefäße aus Eisenblech $k = 0{\cdot}00118$ zu setzen, mit welchen Größen bei dem Werthe für:

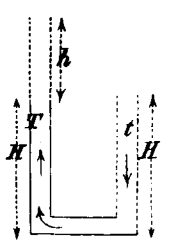
$$\frac{F}{m} = 3000 \quad 4000 \quad 5000 \quad 6000 \quad 7000 \quad 8000 \quad 10000$$

erhalten wird

$$\frac{W}{W'} = 0{\cdot}42 \quad 0{\cdot}51 \quad 0{\cdot}59 \quad 0{\cdot}65 \quad 0{\cdot}69 \quad 0{\cdot}73 \quad 0{\cdot}78.$$

Aus derselben Menge von Brennstoff wird also bei größerer Heizfläche mehr Wärme nutzbar; es liefern jedoch die der Feuerquelle nähern Kesseltheile den meisten Effect und bei einer gewissen Grenze bewirkt die Vergrößerung der Heizfläche oder des Kessels nur einen geringen Unterschied in der Wärmegewinnung, der in keinem günstigen Verhältnisse zu den Mehrkosten des Kessels steht; auch wird die Vergrößerung der Heizfläche noch durch jene Temperaturshöhe beschränkt, welche die Verbrennungsgase im Kamine besitzen müssen, damit hinreichend lebhafter Zug erhalten werde; wie im Folgenden ersichtlich wird.

§. 11. **Geschwindigkeit der Luft in Kaminen.** Ein Volum V atmosphärischer Luft von 0^0 bis t^0 bei gleichem Drucke erhitzt, nimmt um $V\alpha t$ zu, und das specifische Gewicht γ_0 bei 0^0 wird $\frac{\gamma_0}{1+\alpha t}$ bei t^0; eben so $\frac{\gamma_0}{1+\alpha T}$ bei der Temperatur T. Ist die Temperatur der Luft im Kamine T, jene der äußeren t, und hat der Kamin keine plötzlichen Erweiterungen und Verringerungen, wodurch Geschwindigkeitsänderungen eintreten könnten, so wird, zugleich auch von Reibung der Luft an den Wänden abgesehen, von den zwei



communicirenden Luftsäulen, der äußern atmosphärischen und jener im Kamine, erstere das specifische Gewicht $\frac{\gamma_0}{1+\alpha t}$ und letztere $\frac{\gamma_0}{1+\alpha T}$ besitzen, und letztere müßte die Höhe $H + h$ haben, wenn die erstere die Höhe H hat und zwischen beiden Gleichgewicht Statt finden sollte; da aber beide gleiche Höhe H haben, so kann kein Gleichgewicht eintreten, sondern es wirkt wegen $\frac{H+h}{H} = \frac{1+\alpha T}{1+\alpha t}$ das Uebermaß der Höhe $h = H\left(\frac{1+\alpha T}{1+\alpha t} - 1\right) = H\frac{\alpha(T-t)}{1+\alpha t}$ auf Bewegung, und bewirkt eine Geschwindigkeit $v = \sqrt{2g\frac{H\alpha(T-t)}{1+\alpha t}}$ Diese so berechnete Geschwindigkeit wird jedoch etwas zu groß: erstens, weil die Verbrennungsgase das größere specifische Gewicht $1{\cdot}045$ gegen die atmosphärische Luft besitzen, und zweitens, weil durch die Reibung an den Wänden des Schornsteins die Geschwindigkeit vermindert wird. Es ist somit v noch mit einem Erfahrungscoefficienten zu versehen und

$$v = 7{\cdot}87k \times \sqrt{\frac{H\alpha(T-t)}{1+\alpha t}} \qquad (1)$$

oder im Mittel $v = 5\sqrt{\frac{H\alpha(T-t)}{1+\alpha t}}$ (2)

zu setzen.

Wenn nur das schnelle Aufsteigen der Gase im Kamine alleinige Absicht wäre, so dürfte nur T, d. h. die Temperatur der abziehenden Gase groß genug gemacht werden; da aber der Zweck ist, die Verbrennungsgase so viel als möglich abzukühlen, um möglichst viel Wärme nutzbar zu machen, so handelt es sich hauptsächlich um die Luftmenge L in Pfunden, welche in jeder Stunde bei gegebener Höhe und Weite des Kamins ausströmt.

Bei dem Querschnitte O des Kamins findet sich diese

$$L = \frac{3600\,O\,v\,\gamma_0}{1+\alpha T} = \frac{18000\,O\,\gamma_0}{1+\alpha T}\sqrt{\frac{H\alpha(T-t)}{1+\alpha t}}.$$

Für die Anwendung geben die Werthe $\gamma = 0{\cdot}0733$, $T = 300$, $t = 15$ und $\alpha = 0{\cdot}00367$ folgende einfachere und vollkommen ausreichende Formeln:

$$L = 640.O\sqrt{H} \qquad (I)$$

$$O = 0{\cdot}0018\frac{L}{\sqrt{H}} \qquad (II)$$

$$H = 0{\cdot}00000324\frac{L^2}{O^2}. \qquad (III)$$

b) Wasserdampf.

§. 12. **Dampfbildung.** Ueber einer Wassermasse einen luftleeren Raum erzeugt, übergehet ein Theil des Wassers in Dampf von bestimmter Spannung und Dichte; wird dieser Raum vergrößert und für ungeändert bleibende Temperatur Sorge getragen, so geht eine neue Quantität Wasser in Dampf über, und Spannung und Dichte bleibt constant so lange noch Wasser vorhanden ist.

Wird dieser gebildete Dampf durch Verringerung seines Raumes wieder zusammengedrückt und die Temperatur dabei nicht geändert, so geht ein Theil des Dampfes auch wieder in Wasser über und der Rest des Dampfes behält dieselbe Spannung und Dichte.

Derselbe Vorgang bei verschiedenen Temperaturen gibt genau dieselbe Erscheinung, nur wird die Spannung und Dichte des Dampfes größer oder kleiner, je nachdem während des Versuches die Temperatur höher oder niedriger war.

Es entspricht also jeder Temperatur des Dampfes, so lange er mit Wasser in Berührung ist, eine bestimmte Spannkraft und Dichte, und man sagt von Dämpfen in diesem Zustande, sie seien im Maximum der Spannkraft oder auch sie seien gesättigt.

Ist endlich bei gleicher Temperatur durch fortgesetzte Volumvergrößerung alles Wasser in Dampf übergegangen, so hat jede weitere Volumvergrößerung eine Abnahme der Spannung und Dichte zur Folge und der Dampf folgt nahezu, wie die Gase, dem Mariotte-schen Gesetze.

Wird ferner beim, mit Wasser in Berührung stehendem, Dampfe unter unveränderlichem Volum die Temperatur erhöht, so geht noch ein Theil des Wassers in Dampf über, wobei Spannkraft und Dichte so lange zunimmt, bis beide das der bestehenden Temperatur zugehörige Maximum erreichen. Durch fortgesetztes Erhitzen kann endlich nach und nach alles Wasser in Dampf verwandelt werden; ist dieß jedoch erfolgt, so bleibt bei weiterer Temperaturerhöhung die Dichte dieselbe, die Spannung dagegen nimmt fortwährend zu und zwar nach dem Gay-Lussac'schen Gesetze, d. h. es ist, wenn p und p' die Spannkräfte bei den Temperaturen t und t' und α den Ausdehnungscoefficienten des Wasserdampfes bedeuten:

$$p = p'\left(\frac{1 + \alpha t}{1 + \alpha t'}\right). \qquad (1)$$

Das Verhalten des Dampfes, so lange er mit Wasser in Berührung steht, ist also ein ganz anderes, als wenn er isolirt einen Raum für sich allein ausfüllt.

Den ersteren nennt man Kesseldampf oder gesättigten, und es besitzt derselbe bei jeder Temperatur eine bestimmte dieser zugehörige Spannkraft und Dichte, so daß es nicht möglich ist, jene zu ändern ohne gleichzeitig auch letztere zu alteriren.

Der zweite, sogenannter überhitzter oder isolirter Dampf, folgt so wie die Gase, nahe dem Mariotte'schen und Gay-Lussac-schen Gesetze.

Im Folgenden wird meist vom Kesseldampf gehandelt werden, deßhalb soll, wenn von Dampf schlechtweg die Rede ist, immer dieser darunter verstanden sein.

§. 13. Abhängigkeit zwischen Temperatur, Spannkraft und Dichte beim Wasserdampfe. Nach Vorhergehendem entspricht jeder Temperatur ein Maximum der Spannkraft und Dichte; zahlreich angestellte Versuche zeigten, daß letztere sehr rasch zunehme, wenn die Temperatur auch nur wenig wächst; das Gesetz jedoch, welchem die Abhängigkeit der Temperatur, Spannkraft und Dichte einander bezüglich folgt, ist bis jetzt noch durch keinen allgemein giltigen analytischen Ausdruck dargestellt, obwohl eine große Zahl empirischer Formeln besteht, die meist nicht genau genug, sehr verwickelt und manche für die Rechnung auch ganz unbrauchbar sind.

Die gebräuchlichsten und vielleicht auch einfachsten Formeln zwischen Temperatur und Spannkraft des Wasserdampfes sind, die Spannung in Atmosphären und die Temperatur in Graden nach Celsius ausgedrückt, folgende:

$$\left.\begin{array}{ll}
\left.\begin{array}{l} p = \left(\dfrac{75 + t}{175}\right)^6 \\ t = 175\sqrt[6]{p} - 75 \end{array}\right\} & \text{nach Mellet} \\
\left.\begin{array}{l} p = (0{\cdot}2847 + 0{\cdot}007153)^5 \\ t = 139{\cdot}8\sqrt[5]{p} - 39{\cdot}8 \end{array}\right\} & \text{nach Arago und Dulong} \\
\left.\begin{array}{l} p = \left(\dfrac{72{\cdot}67 + t}{172{\cdot}67}\right)^6 \\ t = 172{\cdot}67\sqrt[6]{p} - 72{\cdot}67 \end{array}\right\} & \text{nach Pambour.}
\end{array}\right\} \qquad (2)$$

Bezeichnet nun δ die Dichte des Dampfes bei 100° oder für die Spannung von einer Atmosphäre, so wie $\varDelta$ die Dichte und p die Spannung in Atmosphären bei t^0, und α den Ausdehnungscoefficienten, so kann man

$$\varDelta = \frac{\delta p\,(1 + 100\,\alpha)}{(1 + \alpha t)} \qquad (3)$$

setzen.

Soll nun hierin die Abhängigkeit zwischen Dichte und Spannung allein dargestellt werden, so muß in (3) für t einer der obigen Werthe aus (2) gesetzt werden, wodurch für $\varDelta$ eine complicirte, für die Anwendung ganz untaugliche Relation erhalten wird; man zog es daher vor, für die Berechnung der Dichte aus der Spannung wieder eigene empirische Formeln aufzustellen, welche gewöhnlich die Form $\dfrac{\alpha}{\beta + p}$ oder $\alpha + \beta p$ haben, aber α und β verschiedene Werthe erhalten, je nachdem sie für Dämpfe von hoher oder niederer Spannung Anwendung finden sollen, um mit den Versuchen nur einigermaßen übereinstimmende Resultate zu geben.

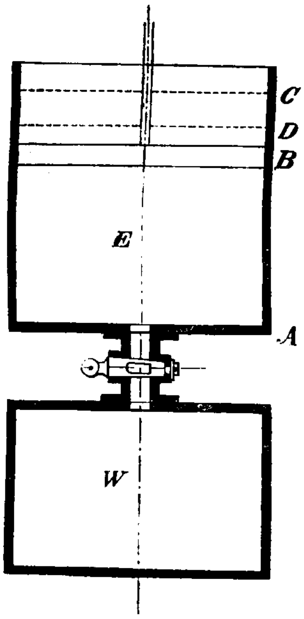
Diesen Uebelstand zu beheben, und je Eine allgemein giltige Relation zwischen Temperatur und Spannkraft oder Dichte zu erhalten, suchte ich durch folgende theoretische Betrachtungen die Form dieser Relation festzustellen, deren unbestimmte Coefficienten, wie stets, durch Benützung gemachter Versuche zu ermitteln sein werden. Bedeuten δ' und π die Dichte und Spannkraft des Dampfes bei 0° C., eben so $\varDelta$ und p bei t^0, so ist $\varDelta = \dfrac{\delta' p}{\pi}\dfrac{\varphi(t)}{f(t)}$, denn ist auch das Mariotte'sche Gesetz nicht genau richtig, d. h. ist die Dichte nicht genau proportional der Spannkraft, so läßt sich dieß Verhältniß gewiß durch $\dfrac{p}{\pi}\varphi_1(p)$, und, weil p bei gesättigtem Dampfe eine Function von t ist, auch durch $\dfrac{p}{\pi}\varphi(t)$ darstellen; eben so ist die Ausdehnung allgemein irgend eine Function von t.

Nun ist aber $\dfrac{f(t)}{\varphi(t)} = F(t)$ und $\dfrac{\delta'}{\pi} = k$ gleich einer Constanten, folglich hat man die Dichte

$$\varDelta = \frac{kp}{F(t)} \qquad (a)$$

und das specifische Volumen

$$V = \frac{1}{\varDelta} = \frac{F(t)}{kp}. \qquad (b)$$



Ist nach nebenstehender Figur der Cylinder E, mit dem Wassergefäße W in Verbindung, bis B mit Dampf von der Temperatur t, der Spannkraft p und der Dichte $\varDelta$ gefüllt, und wächst die Temperatur um dt; so wird auch p um dp und $\varDelta$ um $d\varDelta$ wachsen. Wird der Hahn sodann geschlossen und der Kolben aus der Lage B in jene von C gebracht bis wieder die Spannung p eintritt; so wird, da für so kleine Grenzen das Mariotte'sche Gesetz als richtig angenommen werden kann, sein $AB : AC = p : p + dp$ oder auch

$$\frac{dp}{p} = \frac{BC}{AB}. \qquad (c)$$

Steht aber der Dampf mit dem Wasser nicht in Berührung, ist also der Hahn H geschlossen, so gehet durch die Temperaturerhöhung von t auf $t + dt$ das Volum AB über in $AB \cdot \dfrac{F(t + dt)}{F(t)} = AD$, woraus, wenn man $F(t + dt)$ nach der Taylor'schen Reihe entwickelt und die späteren Glieder vernachläßigt

$$AD - AB = BD = \frac{dF(t)}{F(t)} AB \text{ folgt.}$$

Das oben gefundene BC läßt sich auch nach meiner Ansicht stets als ein Vielfaches von BD betrachten; denn ist für irgend eine andere Temperaturerhöhung, z. B. für jene von T auf $T + dT$, die Ausdehnung bei gleicher Spannung größer, so heißt das nichts anderes als: es haben die Wassertheilchen bei dieser Temperaturänderung verhältnißmäßig ein größeres Bestreben sich von einander zu entfernen, oder mit anderen Worten, sie äußern in demselben Verhältnisse eine größere Expansivkraft, wovon man sich leicht überzeugt, wenn man das Volum bei $T + dT$ auf das ursprüngliche zusammendrückt ohne die Temperatur zu ändern.

Nun ist aber nach Gleichung (c) $\frac{p}{dp} = \frac{AB}{BC}$, es nimmt also auch BC in demselben Verhältnisse wie dp zu, folglich auch in demselben wie die Ausdehnung BD, und man kann somit $BC = nBD$ setzen. Es ist also wegen

$$BD = \frac{d(F(t))}{F(t)} AB \quad \text{oder} \quad \frac{dp}{p} = \frac{n\, dF(t)}{F(t)}. \tag{1}$$

Durch Integration der Gleichung (1) erhält man $\log p = n \log F(t) + C$. Zur Bestimmung der Constanten ist für $t = 100$, $p = 1$, wenn nämlich p in Atmosphären ausgedrückt wird; es ist also

$$\log p = n \log \frac{F(t)}{F(100)},$$

oder endlich

$$p = \left(\frac{F(t)}{F(100)}\right)^n. \tag{I}$$

Jede Function läßt sich aber nach den steigenden Potenzen der Variabeln darstellen, man kann somit auch schreiben

$$p = \left(\frac{\alpha_1 + \beta_1 t + \gamma_1 t^2 + \ldots}{a}\right)^n$$

oder indem man mit a dividirt

$$p = (\alpha + \beta\, t + \gamma\, t^2 \ldots)^n. \tag{II}$$

Bezeichnet δ die Dichte des Dampfes bei 100°, so folgt nach Gleichung (a) die Dichte bei t°: $\varDelta = \frac{\delta p F(100)}{F(t)}$, oder mit dem Werthe für $\frac{F(t)}{F(100)}$ aus (I)

$$\varDelta = \delta p^{\frac{n-1}{n}} \tag{III}$$

und endlich mit dem Werthe für p aus (II) auch:

$$\varDelta = \delta(\alpha + \beta\, t + \gamma\, t^2 + \ldots)^{n-1}. \tag{IV}$$

Die Coefficienten dieser Gleichungen sind nur durch Versuche zu bestimmen, und zwar eignet sich zur Ermittelung des Exponenten n die Gleichung (III); leider sind bis jetzt wenig Dichtebestimmungen für verschiedene Spannkräfte gemacht worden, und man kann auch diesen wegen Mangel einer beruhigenden Bestätigung nicht viel Vertrauen schenken; es empfiehlt sich daher besser folgendes Verfahren, um den wahrscheinlichsten Werth von n zu finden. Man kann nämlich annehmen, daß innerhalb kleiner Grenzen das Mariotte'sche Gesetz, so wie der Gay-Lussac'sche Ausdehnungscoefficient 0·00375 richtig seien, und dann ist

$$F(t) = (1 + 0{\cdot}00375\, t) \quad \text{und} \quad p = \left(\frac{1 + 0{\cdot}00375\, t}{1{\cdot}375}\right)^n,$$

welche Formel mit $n = 12$ für Spannungen zwischen $1/3$ und 4 Atmosphären mit den Versuchen von Regnault übereinstimmende Resultate liefert.

Behält man nun $n = 12$ als den wahrscheinlichsten Werth von n bei, so findet man auf Grundlage der Versuche von Regnault zwischen Spannkraft und Temperatur, mit Vernachlässigung der dritten und höheren Potenzen von t, $\alpha = 0{\cdot}6533$, $\beta = 0{\cdot}003921$ und $\gamma = -0{\cdot}00000454$; wodurch obige allgemeine Relationen für Wasserdampf, gleichzeitig auch noch für die Dichte δ bei 0° den Werth $0{\cdot}0005896 = \frac{1}{1696}$ gesetzt, in folgende übergehen:

$$p = (0{\cdot}6533 + 0{\cdot}003921\, t - 0{\cdot}00000454\, t^2)^{12} \tag{A}$$

$$\varDelta = \tfrac{1}{1696}(0{\cdot}6533 + 0{\cdot}003921\, t - 0{\cdot}00000454\, t^2)^{n-1} \tag{B}$$

$$\varDelta = \tfrac{1}{1696}\sqrt[12]{p^{11}} = \tfrac{1}{1696}\, p^{11/12}. \tag{C}$$

Vergleicht man die Gleichung (A) mit der früher gegebenen empirischen Relation zwischen Temperatur und Spannkraft des Wasserdampfes, so zeigt sich, daß die Form genau dieselbe ist, ja man braucht in Gleichung (A) nur die Function von t zu quadriren, um sogar denselben Exponenten 6 wie Mellet und Pambour zu erhalten; führt man diese Operation aus, so folgt

$$p = (0{\cdot}4268 + 0{\cdot}0051282\, t + 0{\cdot}000015874\, t^2 -$$
$$- 0{\cdot}0000000856\, t^3 + 0{\cdot}0000000000206\, t^4)^6,$$

während nach Mellet

$$p = (0{\cdot}4286 + 0{\cdot}005714\, t)^6;$$

und nach Pambour

$$p = (0{\cdot}4208 + 0{\cdot}005791\, t)^6 \text{ ist.}$$

Diese Formeln stimmen, wie ein vergleichender Blick zeigt, ziemlich überein; indem die Differenz des zweiten Gliedes durch die folgenden Glieder ausgeglichen wird. Diese Uebereinstimmung spricht wieder für die Wahrscheinlichkeit der gemachten Voraussetzungen, und berechtigt uns ohne Weiteres zur Beibehaltung der gefundenen Relationen.

Aus den Gleichungen (A) und (C) lassen sich nun noch mehrere für die Berechnung der Dampfmaschinen wichtige Relationen folgern: so ergibt sich für das specifische Volumen V des Dampfes bei der Spannung von p Atmosphären

$$V = \frac{1}{\varDelta} = \frac{1696}{p^{11/12}}, \tag{D}$$

für das Volumen $\mathfrak{V}$ von 1 Pfund Dampf

$$\mathfrak{V} = \frac{V}{56{\cdot}4} = \frac{30{\cdot}1}{p^{11/12}} \tag{E}$$

und für das Gewicht von 1 Cubikfuß Dampf

$$\gamma = \frac{1}{\mathfrak{V}} = \frac{p^{11/12}}{30{\cdot}1}. \tag{F}$$

Die Resultate dieser Formeln lassen sich für verschiedene Werthe von p zusammenstellen, und geben die Seite 269 und 270 in der Note aufgeführte Tabelle.

§. 14. Nöthige Wärmemenge zur Verwandlung von 1 Pfund Wasser in Dampf. Nach Watt und Pambour ist diese Wärmemenge für Dampf von jeder beliebigen Spannung oder Temperatur dieselbe, nämlich 650 Wärmeeinheiten; nach Southern ist die latente Wärme, welche durch die Aenderung des Aggregatzustandes absorbirt wird, für jede Temperatur und Spannkraft constant und gleich 540, die Gesammtwärme hingegen gleich $540 + t$ der latenten Wärme mehr einer Zahl, welche die Temperaturgrade des Dampfes bezeichnet. Regnault, dessen Versuche das meiste Vertrauen verdienen, fand, daß die Wärmemenge im Dampfe zwar mit der Temperatur zunehme, jedoch nicht nach dem Southern'schen Gesetze, und gibt hierfür folgende empirische Formel:

$$M = 606{\cdot}5 + 0{\cdot}305\, t.$$

Von dem Grundsatze ausgehend, daß unter gleichen Umständen die erzeugte Arbeit der verwendeten Wärme proportional sei, läßt sich diese Wärmemenge M folgendermaßen bestimmen:

Wird 1 Pfund Wasser in Dampf von der Spannung p verwandelt, so besitzt derselbe ein Volumen $\mathfrak{V} = \frac{30{\cdot}1}{p^{11/12}}$; denkt man sich nun ein cylindrisches Gefäß vom Querschnitte O Quadratfuß, in welchem sich ein Kolben bewegt, mit einem Dampferzeugungs-Apparate in Verbindung, so wird bei dem Uebergange von 1 Pfund Wasser in Dampf von der Spannung p eine Volumzunahme von $\frac{30{\cdot}1^{c'}}{p^{11/12}}$ erfolgen, und somit der Kolben bei einer Belastung von $12{\cdot}8\,p$ Pfund für den Quadratzoll ein Volumen $Os = \frac{30{\cdot}1^{c'}}{p^{11/12}}$ beschreiben und hierbei eine Arbeit $W = 12{\cdot}8 \times 144\, p\, O s$ oder, für $O s$ obigen Werth gesetzt, $W = 55200 \sqrt[12]{p}$ Fußpfund verrichten.

Ein Pfund Dampf von einer Atmosphäre Spannung erfordert zu seiner Bildung eine bestimmte Wärmemenge m' und entwickelt eine Arbeit gleich 55200 Fußpfund; Dampf von der Spannung p oder p' Atmosphären liefert hingegen eine Arbeit $55200 \sqrt[12]{p}$ oder $55200 \sqrt[12]{p'}$, und benöthigt eine Wärmemenge beziehungsweise $m' + n$ oder $m' + n'$; die Wärmemengen n und n' sollen dem Mehr der erzeugten Arbeit, also dem $55200 (\sqrt[12]{p} - 1)$ und $55200 (\sqrt[12]{p'} - 1)$ proportional, d. h. es muß $n = a (\sqrt[12]{p} - 1)$ und $n' = a (\sqrt[12]{p'} - 1)$ sein, worin a einen der Natur des Dampfes entsprechenden Coefficienten vorstellt; wir haben somit

$$M = m' + a (\sqrt[12]{p} - 1) = m + a \sqrt[12]{p} \qquad \text{(a)}$$

wo m oder $m' - a$ und a durch Versuche zu bestimmen sein werden. Hält man den obigen Grundsatz fest, so führt zur Bestimmung von a auch folgende Betrachtung:

Ist $\mathfrak{V} = 30{\cdot}1$ das Volum von 1 Pfund Dampf bei 100°, α der Ausdehnungscoefficient und s die specifische Wärme für überhitzten Dampf, so stellt $\mathfrak{V} \alpha (t - 100)\, 12{\cdot}8 \times 144 = 55200\, \alpha (t - 100)$ Fußpfunde die Arbeit vor, welche erzeugt wird, indem die Temperatur von 100 auf t^0 steigt, und $(t - 100) s$ ist die hierzu verwendete Wärmemenge.

Bringt man gesättigten Dampf von der Temperatur 100 auf jene t oder von der Spannung 1 auf jene p, so entwickelt sich eine Arbeit $= 55200 (\sqrt[12]{p} - 1)$, und erfordert nach Obigem die Wärmemenge $a (\sqrt[12]{p} - 1)$; soll nun die Arbeit in beiden Fällen der Wärmemenge proportional sein, so muß für $\alpha (t - 100) = \sqrt[12]{p} - 1$ auch $(t - 100) s = a (\sqrt[12]{p} - 1)$, d. h. $\frac{s}{\alpha} = a$ sein. Nun ist $s = 0{\cdot}475$ und α näherungsweise $= 0{\cdot}00375$, also findet man

$$a = \frac{0{\cdot}475}{0{\cdot}00375} = 126. \qquad (\alpha)$$

Regnault fand für Dampf von 100° $M = 637$, für solchen von 695° oder $13{\cdot}625$ Atmosphären Spannung $M = 666$.

Durch Benützung dieser Werthe für Gleichung (a) findet sich:

$$M = 517 + 120 \sqrt[12]{p}, \qquad \text{(I)}$$

welche Formel wir beibehalten werden, da der Ausdehnungscoefficient α vielleicht weniger Vertrauen verdient.

Substituirt man für $\sqrt[12]{p}$ den Werth aus Gleichung (A) (§. 12), so wird

$$\left.\begin{aligned} M &= 595{\cdot}4 + 0{\cdot}4705\, t - 0{\cdot}000544\, t^2 = \\ &= 595{\cdot}4 + 0{\cdot}4705\, t\, (1 - 0{\cdot}001156\, t). \end{aligned}\right\} \qquad \text{(II)}$$

Die Resultate der Formel (I) sind in nachstehender Tabelle enthalten und stimmen fast ganz genau mit den von Regnault berechneten überein.

---

*) **Tabelle für die Abhängigkeit zwischen Spannung, Temperatur, Dichte und Volumen des Wasserdampfes.**

Spannung in Atmosphären	Druck per Quadratzoll	Temperatur nach Celsius	Dichte, jene des Wassers = 1	Specifisches Volum	Volum in Cubikfußen von 1 Pfd. Dampf	$\sqrt[12]{p}$	$\sqrt[12]{p''}$
0·125	1·59	50·8	0·00008765	11409·5	202·6	0·84090	0·14865
0·25	3·19	65·4	0·00016546	6043·6	107·3	0·89090	0·28063
0·33	4·25	74·6	0·00021341	4685·9	83·6	0·91175	0·36194
0·50	6·38	82·0	0·00031155	3209·7	56·9	0·94366	0·52839
0·66	8·50	89·2	0·00040286	2482·3	44·1	0·96596	0·68325
0·75	9·57	92·5	0·00045295	2207·8	39·18	0·97631	0·76820
0·90	11·48	97·2	0·00053535	1868·0	33·15	0·99126	0·90794
1·0	12·75	100·0	0·00058962	1696·0	30·1	1·00000	1·00000
1·5	19·13	112·5	0·00085505	1169·6	20·75	1·03438	1·45015
2·0	25·50	121·4	0·0011131	898·4	15·94	1·05945	1·88775
2·5	31·90	128·0	0·0013657	732·23	12·99	1·07935	2·31620
3·0	38·25	134·4	0·0016141	619·54	10·99	1·09588	2·73755
3·5	44·63	139·5	0·0018591	537·90	9·54	1·11005	3·15305
4·0	51·00	144·2	0·0021012	475·93	8·44	1·12247	3·56360
4·5	57·38	148·3	0·0023406	427·22	7·58	1·13354	3·96990
5·0	63·75	152·2	0·0025781	387·89	6·88	1·14353	4·37242
5·5	70·13	155·7	0·0028135	355·44	6·30	1·15260	4·77161
6·0	76·50	159·0	0·0030470	328·20	5·82	1·16105	5·16780
6·5	82·88	162·2	0·0032790	304·97	5·41	1·16880	5·56123
7·0	89·25	165·1	0·0035095	284·94	5·05	1·17605	5·95213
7·5	95·63	168·0	0·0037386	267·48	4·75	1·18283	6·34074
8·0	102·00	170·4	0·0039665	252·12	4·47	1·18920	6·72716
8·5	108·38	172·9	0·0041932	238·49	4·23	1·19522	7·11160
9·	114·75	175·4	0·0044187	226·31	4·02	1·20095	7·47690
10·	127·50	180·0	0·0048667	205·48	3·65	1·21153	8·25404
12·	153·00	188·1	0·0057521	173·86	3·09	1·23000	9·75556
15·	191·25	198·4	0·0070576	141·07	2·52	1·25320	11·96500
20·	225·50	213·0	0·0091872	108·85	1·93	1·28355	15·58160

Temperatur	Spannung	Wärmeeinheiten in 1 Pfd. Dampf	Temperatur	Spannung	Wärmeeinheiten in 1 Pfd. Dampf
50·8	0·125	618	152·2	5	654·2
65·4	0·25	624	159·0	6	656·3
82·0	0·5	630	165·1	7	658·1
100·	1·0	637	170·4	8	659·7
112·5	1·5	641	175·4	9	661·
121·4	2·0	644	180·0	10	662·8
128·0	2·5	646·5	188·1	12	664·6
134·4	3	648·5	198·4	15	667·4
144·2	4	651·7	213·0	20	671·

§. 15. **Condensation des Dampfes.** Um Ein Pfund Dampf von der Temperatur T^0, die Wärmemenge M enthaltend, durch Einspritzen des Wassers von der Temperatur t^0 auf T'^0 abzukühlen, ist eine bestimmte Wassermenge erforderlich.

Das Gemenge wird stets eben so viel Wärme enthalten, als die Theile zusammen; bedeutet daher x die erforderliche Wassermenge in Pfunden, so muß $(x+1)\,T' = M + xt$ sein, woraus

$$x = \frac{M - T'}{T' - t} \tag{1}$$

folgt; für M den Werth aus (I) oder (II) eingeführt, wird

$$x = \frac{517 + 120\sqrt[12]{p} - T'}{T' - t} = \frac{595{\cdot}4 + 0{\cdot}4705\,t - 0{\cdot}000545\,t^2 - T'}{T' - t}. \tag{2}$$

Die Wassermenge x wird daher um so bedeutender, je größer die Temperatur oder die Spannung des Dampfes, je größer die Temperatur des eingespritzten Wassers ist, und je kleiner T' die Temperatur des condensirten Dampfes sein soll.

§. 16. **Arbeit, welche 1 Pfund Dampf bei einer gegebenen Expansion entwickelt.** Verwandelt sich Ein Pfund Wasser in Dampf von der Spannung p, so nimmt derselbe ein Volum $V = 30{\cdot}1\sqrt[12]{\frac{1}{p^{11}}}$ Cubikfuß ein, und entwickelt hierbei eine Arbeit

$$W' = 55200\sqrt[12]{p}. \tag{1}$$

Um nun auch die Arbeit, welche während der Expansion des Dampfes erzeugt wird, zu finden, müssen wir vor Allem die Relation zwischen Volum und Spannkraft während der Expansion kennen.

Bliebe der Dampf während seiner Ausdehnung stets im Maximum der Dichte, so wäre diese Relation nach dem frühern $V = 30{\cdot}1\sqrt[12]{\frac{1}{p^{11}}}$; da aber gesättigter Dampf bei einer kleineren Spannung auch weniger Wärme besitzt, so muß ein Theil der Wärme frei werden, welche nun eine Temperaturerhöhung und in Folge dessen auch eine Volumsvergrößerung bewirkt.

Geht Ein Pfund Dampf von der Spannung p in jene 1 über, so wird eine Wärmemenge $120(\sqrt[12]{p} - 1) = \frac{s}{\alpha}(\sqrt[12]{p} - 1)$ frei; nun ist aber das Volum bei 1 Atmosphäre Spannung gleich $V' = 30{\cdot}1^{c'}$ und es dehnt sich dasselbe, durch die frei gewordene Wärmemenge $\frac{s}{\alpha}(\sqrt[12]{p} - 1)$ um $\frac{\alpha}{s}\cdot\frac{s}{\alpha}(\sqrt[12]{p} - 1)\,V' = (\sqrt[12]{p} - 1)\,V'$ aus, folglich ist das wirkliche Volum bei der geänderten Spannung p'

$$30{\cdot}1\,(1 + \sqrt[12]{p} - 1) = 30{\cdot}1\sqrt[12]{p},$$

jenes bei der Spannung p gleich $30{\cdot}1\sqrt[12]{\frac{1}{p^{11}}} = 30{\cdot}1\,\frac{\sqrt[12]{p}}{p}$; es verhalten sich somit die Volumina bei der Spannung von p und 1 Atmosphäre verkehrt wie die Spannkräfte, d. h. $p : 1 = V' : V$, oder allgemein $p : p' = V' : V$.

Die Temperatur nach der Expansion ist

$$t' + \frac{1}{\alpha}(\sqrt[12]{p} - \sqrt[12]{p'}) = t - 0{\cdot}0021\,(t^2 - t'^2),$$

wo t und t' die Temperaturen des gesättigten Dampfes bei den Spannungen p und p' bedeuten.

Um nun die Arbeit, welche 1 Pfund Dampf von der Spannung p und dem Volum V während der Expansion erzeugt, zu finden, hat man nach Obigem für irgend ein Volum v die zugehörige Spannung $\pi = \frac{V}{v}p$; nimmt nun v um dv zu, so entwickelt sich eine Arbeit gleich $12{\cdot}8\,.\,144\,\pi\,dv = 1843\,p\,V\frac{dv}{v}$ und folglich ist die Wirkung während der ganzen Expansion

$$W'' = 1843\,p\,V\int_V^{V'}\frac{dv}{v} = 1843\,p\,V \times \log\frac{V'}{V}; \tag{1}$$

setzt man für V den Werth $\frac{30{\cdot}1}{\sqrt[12]{p^{11}}}$, so erhält man endlich:

$$W'' = 55200\sqrt[12]{p}\,\log\frac{V'}{V}. \tag{2}$$

Die Gesammtwirkung von 1 Pfund Dampf ist also gleich

$$W' + W'' = 55200\sqrt[12]{p}\left\{1 + \log\frac{V'}{V}\right\}. \tag{I}$$

Nimmt man an, wie es in der Praxis gewöhnlich der Fall ist, daß der Dampf stets im Maximum der Dichte verbleibe, so findet man, da nun

$$p : p' = V'\sqrt[11]{V'} : V\sqrt[11]{V},\quad W'' = V\log\frac{V'}{V}\left\{1 - 0{\cdot}045\log\frac{V'}{V}\right\}.$$

Es wäre somit in diesem Falle

$$W = 55200\sqrt[12]{p}\left\{1 + \log\frac{V'}{V}\left(1 - 0{\cdot}045\log\frac{V'}{V}\right)\right\}. \tag{II}$$

§. 17. **Die durch eine Wärmeeinheit entwickelte Arbeit** zu finden, ist blos obige Arbeit W von 1 Pfund Dampf durch die Anzahl M der Wärmeeinheiten, welche 1 Pfund Dampf bei der Spannung p besitzt, zu dividiren; es ist somit w die Wirkung einer Wärmeeinheit $w = \frac{W}{M} = \frac{55200\sqrt[12]{p}\left\{1 + \log\frac{V'}{V}\right\}}{517 + 120\sqrt[12]{p}}$, wofür man auch schreiben kann:

$$w = \frac{[55200 + 55200\,(\sqrt[12]{p} - 1)]\left(1 + \log\frac{V'}{V}\right)}{637 + 120\,(\sqrt[12]{p} - 1)}. \tag{a}$$

Nun wird aber die Arbeit $55200\left(1 + \log\frac{V'}{V}\right)$ durch die 637 Wärmeeinheiten, welche der Dampf bei 100° oder der Spannung 1 besitzt, erzeugt, und jene $55200\,(\sqrt[12]{p} - 1)\left(1 + \log\frac{V'}{V}\right)$ durch die Wärmemenge $120\,(\sqrt[12]{p} - 1)$, um welche 1 Pfund Dampf bei der Spannung p mehr als bei jener 1 enthält, folglich ist die Wirkung für die Wärmeeinheit im ersten Falle:

$$\frac{55200}{637}\left(1+\log\frac{V'}{V}\right)=86\cdot 6\left(1+\log\frac{V'}{V}\right),$$

und im zweiten:

$$\frac{55200}{120}\left(1+\log\frac{V'}{V}\right)=460\left(1+\log\frac{V'}{V}\right);$$

es läßt sich also die durchschnittliche Arbeit w für die Wärmeeinheit auch so darstellen:

$$w=\left[\left(\frac{637}{M}\right)86\cdot 6+\left(1-\frac{637}{M}\right)460\right]\left(1+\log\frac{V'}{V}\right). \qquad \text{(b)}$$

Hiernach wird die Wirkung für die Wärmeeinheit bei gleicher Expansion um so größer, je größer M oder, was dasselbe, je größer die Spannung p ist; für $M=\infty$ würde $w=460\left(1+\log\frac{V'}{V}\right)$ werden, d. h. es würde in diesem Falle gesättigter und überhitzter Dampf gleiche Arbeit erzeugen.

§. 18. Ausströmung des Dampfes. Besitzt der Dampf eine Spannung P, eine Dichte Δ und eine Temperatur T, und strömt derselbe in einen Raum, wo die Spannung p herrscht, so findet sich für den ausströmenden Dampf die Geschwindigkeit v in Fußen und die Masse M in Pfunden für die Secunde nach folgender Betrachtung:

Erleidet der Dampf während seines Strömens in der Röhrenleitung keine Abkühlung, so erzeugt die in der Secunde ausströmende Dampfmenge M, da dieselbe von der Spannung P in jene p übergeht, also expandirt, eine Arbeit $=55200\sqrt[12]{P}\log\frac{P}{p}M$ (§. 15), welche, von der Reibung abgesehen, dazu verwendet wird, den Dampf von der Geschwindigkeit 0 auf jene v zu bringen; es ist somit

$$55200\sqrt[12]{P}\log\frac{P}{p}\,.\,M=M\frac{v^2}{2g}, \text{ oder}$$

$$v=1850\sqrt{\sqrt[12]{P}\log\frac{P}{p}} \qquad \text{(I)}$$

Wegen Reibung in der Röhrenleitung wird die wahre Ausflußgeschwindigkeit stets kleiner sein, und es ist, um die wirkliche Geschwindigkeit zu erhalten, die theoretische mit einem Coefficienten k zu multipliciren, und zwar wird dieser Coefficient stets kleiner als Eins, und um so kleiner sein, je unregelmäßiger und zusammengesetzter die Leitung ist.

Um die Menge V des ausströmenden Dampfes in Cubikfußen zu erhalten, ist die Geschwindigkeit noch mit dem Querschnitte a der Ausflußöffnung zu multipliciren und es ist:

$$V=kav=1850\,ak\sqrt{\sqrt[12]{P}\log\frac{P}{p}}. \qquad \text{(II)}$$

Die in jeder Secunde ausströmende Dampfmenge in Pfunden zu erhalten, ist obiges Volum V durch das Volum von 1 Pfund Dampf bei der Spannung p, also durch $\frac{30\cdot 1}{\sqrt[12]{p^{11}}}\frac{P}{p}$ zu dividiren, und es wird:

$$M=1850\,ak\sqrt{\sqrt[12]{P}\log\frac{P}{p}}\,.\,\frac{\sqrt[12]{P^{11}}}{30\cdot 1}\frac{p}{P}=$$

$$=61\cdot 6\,akp\sqrt{\frac{\log\frac{P}{p}}{\sqrt[12]{P}}}. \qquad \text{(III)}$$

II.

Berechnung des Nutzeffectes einer Dampfmaschine.

§. 19. Der Beharrungsstand der Maschine, den wir in der Rechnung voraussetzen müssen, bedingt: erstens, daß die Quantität der producirten Arbeit jener, welche durch sämmtliche Widerstände absorbirt wird, gleichkomme; zweitens, daß eben so viel Dampf erzeugt als verbraucht werde.

Diese beiden Bedingungen analytisch ausgedrückt, stellen die zwei Grundformeln für die Berechnung des Nutzeffectes dar.

Ist P die Spannung im Kessel, p jene im Cylinder und p' die Spannung nach der Expansion, sämmtlich in Atmosphären ausgedrückt, R der Gesammtwiderstand für 1 Quadratzoll der Kolbenfläche, ferner S die in jeder Secunde erzeugte Dampfmenge in Pfunden, V dessen Volum, A und d der Querschnitt und Durchmesser des Kolbens, L der Kolbenschub, l der Kolbenweg bis zur Absperrung des Dampfzuflusses, λ der schädliche Raum, v die mittlere Kolbengeschwindigkeit, und endlich n die Anzahl Umdrehungen der Kurbelwelle in der Minute; so ist, nach (§. 15), die in der Secunde erzeugte Arbeit $55200\sqrt[12]{P}.S\left[1+\log\frac{P}{p'}\right]$ oder, da die Arbeit, welche der Expansion von der Spannung P auf jene p entspricht, durch die Widerstände in der Dampfleitung vom Kessel bis zum Cylinder absorbirt wird, also für den Nutzeffect verloren geht, die Leistungsfähigkeit des Dampfes im Cylinder in der Secunde

$$55200\sqrt[12]{P}\,S\left(1+\log\frac{p}{p'}\right). \qquad \text{(a)}$$

Durch sämmtliche Widerstände der der Maschine zugewiesenen Arbeit wird hingegen in der Secunde ein mechanisches Moment vAR absorbirt, und durch den schädlichen Raum $A\lambda$ geht ferner noch eine Arbeit $12\cdot 8\,A\frac{\lambda}{L}vp$ per Secunde verloren; die Gleichsetzung dieser zwei Gegenwirkungen gibt die erste Grundformel:

$$55200\sqrt[12]{P}\,S\left(1+\log\frac{p}{p'}\right)=Av\left(R+12\cdot 75\,p\frac{\lambda}{L}\right). \qquad \text{(I)}$$

Das Volum von S Pfund Dampf bei der Spannung P ist nach dem früheren $\frac{30\cdot 1\,S}{\sqrt[12]{P}}$; es ändert sich aber das Volum während der Expansion, von der Abkühlung durch die Umgebung abgesehen, im umgekehrten Verhältnisse der Spannung (siehe §. 15); daher ist das Volum des Dampfes im Cylinder oder bei der Spannung p

$$\frac{30\cdot 02}{\sqrt[12]{P^{11}}}\,S\frac{P}{p} \text{ oder } \frac{30\cdot 02}{p}\,S\sqrt[12]{P}. \qquad \text{(c)}$$

In jeder Secunde wird aber dagegen offenbar ein Volumen $v\frac{l+\lambda}{L}.\frac{A}{144}$ Dampf von der Spannung p verbraucht; die nothwendige Gleichheit dieser beiden Volumina gibt die zweite Grundformel:

$$\frac{30\cdot 02\,S}{p}\sqrt[12]{P}=v\frac{l+\lambda}{L}\frac{A}{144}, \qquad \text{(II)}$$

aus welcher sich ergibt die verbrauchte Dampfmenge in jeder Secunde:

$$S=\frac{Apv}{4323}\frac{l+\lambda}{L}\frac{1}{\sqrt[12]{P}} \qquad \text{(III)}$$

und damit übergehet ferner (I) in

$$AvR=12\cdot 75\,Avp\left[\frac{l+\lambda}{L}\left(1+\log\frac{L}{l'}\right)-\frac{\lambda}{L}\right]. \qquad \text{(IV)}$$

Es umfaßt jedoch R sämmtliche Widerstände sowohl aus der Nutzlast q als der schädlichen Last r, also läßt sich, $R = q + r$ gesetzt, aus (IV) der Nutzeffect Avq ableiten, nämlich:

$$Avq = 12\cdot75\,Avp\left[\frac{1+\lambda}{L}\left(1+\log\frac{L}{l}\right)-\frac{\lambda}{L}-\frac{r}{12\cdot75\,p}\right], \qquad (V)$$

oder, wenn p in Pfunden ausgedrückt wird,

$$Avq = Avp\,\frac{1+\lambda}{L}\left[1+\log\frac{L}{l}-\frac{\lambda}{1+\lambda}-\frac{r}{p}\,\frac{L}{1+\lambda}\right] \qquad (VI)$$

und hieraus folgt die Nutzlast:

$$q = p\,\frac{1+\lambda}{L}\left[1+\log\frac{L}{l}-\frac{\lambda}{1+\lambda}-\frac{r}{p}\,\frac{L}{1+\lambda}\right]. \qquad (VII)$$

Die allgemeinen Relationen (III) und (V), zur Berechnung des Nutzeffectes dienend, lassen die verschiedenen Einflüsse auf den Effect erkennen.

So ist der Effect der Maschine von der Spannung des Dampfes im Kessel unabhängig und nur von der Spannung im Cylinder oder von der Gegenlast bedingt; dagegen ist, vermöge Gleichung (III), die verbrauchte Dampfmenge S von der Spannung im Kessel abhängig, und sie nimmt mit der zunehmenden Spannung ab. Mit der zunehmenden Spannung wächst aber auch der Wärmegehalt des Dampfes, jedoch in einem kleineren Verhältnisse, als die Dampfmenge abnimmt, da die verbrauchte Dampfmenge $S = \alpha \dfrac{1}{\sqrt[12]{P}}$ und der Wärmegehalt $M = a + b\sqrt[12]{P}$ ist; es ist somit der Nutzeffect für die Wärmeeinheit um so größer, je größer die Spannung im Kessel.

Dieß Resultat steht ganz im Einklange mit der Erfahrung: Locomotivführer wissen recht wohl, daß die Maschinen mit hoher Dampfspannung und wenig geöffnetem Regulator günstiger arbeiten, als mit niedriger Spannung und ganz geöffnetem Regulator.

Die bei obiger Entwicklung, wie gewöhnlich gethane Voraussetzung keiner Abkühlung von Außen und keines mechanisch aus dem Kessel in den Cylinder überführten Wassers, kann in der Praxis im Allgemeinen nicht giltig angenommen werden, daher auch obige Theorie mit den Erfahrungen nicht ganz genau übereinstimmen wird.

Wenn Wasser mitgerissen wird und kleine Abkühlungen vorkommen, so wird der Dampf sehr leicht im Maximum seiner Dichte verbleiben können, weil die während der Expansion frei werdende Wärme theils durch Abkühlung verloren geht, theils dazu dient, das mitgerissene Wasser in Dampf zu verwandeln; dieses ist auch die Ursache, warum Pambour den Dampf in den Maschinen stets gesättigt fand. Mit Rücksicht auf diesen Umstand sind obige Formeln für die Praxis zu modificiren.

Es ist nämlich bei der Spannung p das Volum von S Pfund gesättigten Dampfes $\dfrac{30\cdot1\,S}{\sqrt[12]{p^{11}}}$, und seine entwickelte Arbeit, wenn er gesättigt bleibt,

$$55200\sqrt[12]{p}\,S\left[1+\log\left(\frac{L+\lambda}{1+\lambda}\right)\left(1-0\cdot045\log\frac{L+\lambda}{1+\lambda}\right)\right]$$

mithin wird nun:

$$S = \frac{Av}{4323}\,\frac{1+\lambda}{L}\sqrt[12]{p^{11}} \qquad (a)$$

und $Avq = 12\cdot75\,Apv \times$

$$\left[\frac{1}{L}+\frac{1+\lambda}{L}\left(\log\frac{L+\lambda}{1+\lambda}-0\cdot045\left(\log\frac{L+\lambda}{1+\lambda}\right)^2\right)-\frac{r}{12\cdot75\,p}\right] \qquad (b)$$

Die letzte Gleichung läßt sich etwas einfacher schreiben, wenn man das mittlere Glied entwickelt und für $\lambda = 0\cdot05\,L$ setzt; denn es ist dasselbe $\dfrac{1}{L}\log\dfrac{L+\lambda}{1+\lambda}-0\cdot045\,\dfrac{1}{L}\left(\log\dfrac{L+\lambda}{1+\lambda}\right)^2+\dfrac{\lambda}{L}\log\dfrac{L+\lambda}{1+\lambda}-0\cdot045\,\dfrac{\lambda}{L}\left(\log\dfrac{L+\lambda}{1+\lambda}\right)^2$ und zwar wird für die gewöhnlichen Fälle

$$\frac{1}{L}\log\frac{1+\dfrac{\lambda}{l}}{1+\dfrac{\lambda}{L}}+0\cdot045\,\frac{1+\lambda}{L}\left(\log\frac{L+\lambda}{1+\lambda}\right)^2$$

sehr nahe gleich $0\cdot05 \times \log\left(\dfrac{L+\lambda}{1+\lambda}\right)$, so daß wir für den complicirten Ausdruck genau genug setzen können: $\dfrac{1}{L}\log\dfrac{L}{l}$, wodurch obige Gleichung (b) in folgende übergeht:

$$Avq = 12\cdot75\,Apv\left[\frac{1}{L}+\frac{1}{L}\log\frac{L}{l}\quad\frac{r}{12\cdot75\,p}\right] \qquad (c)$$

oder in Pferdekräften ist der Effect:

$$N = 0\cdot03\,Apv\left[\frac{1}{L}+\frac{1}{L}\log\frac{L}{l}-\frac{r}{12\cdot75\,p}\right] \qquad (A)$$

und die in jeder Secunde erforderliche Dampfmenge

$$S = \frac{Av}{4323}\,\frac{1+\lambda}{L}\sqrt[12]{p^{11}}+s, \qquad (B)$$

wenn s den entsprechenden Dampfverlust bezeichnet.

Die Gleichungen (A) und (B), als die praktischsten, sollen der Berechnung des Nutzeffectes zu Grunde gelegt werden.

Es erübrigt nur noch die Frage, welche Werthe r und s in speciellen Fällen annehmen, und durch welche Umstände diese vorzüglich bedingt sind; r bedeutet den auf 1 Quadratzoll des Kolbens entfallenden Theil aus sämmtlichen Widerständen der Maschine; es besteht dasselbe somit aus dem Gegendruck g von Seite des Condensators oder der Atmosphäre, und aus den verschiedenen Widerständen der Maschine, wie Kolbenreibung u. s. w., es ist also $r = \Sigma\rho$.

Die Kolbenreibung läßt sich, wenn d den Durchmesser, h die Höhe des Kolbens, f den Reibungscoefficienten, p und g den Dampf- und Gegendruck bezeichnen, im Ganzen durch $\pi d h f (p-g)$ und für den Quadratzoll des Flächeninhaltes des Kolbens durch

$$\rho = \frac{\pi d h f (p-g)}{\dfrac{\pi}{4}d^2} = \frac{4 h f (p-g)}{d} = \alpha\,\frac{p-g}{d}$$

ausdrücken. Auf dieselbe Weise ist auch die Reibung in der Stopfbüchse für die Flächeneinheit des Kolbens durch $\rho_1 = \beta\,\dfrac{p-g}{d}$ darstellbar.

Der Effectverlust in Folge der Schieberbewegung ist während eines Kolbenschubes, wenn F die Fläche, w den Hub und f den Reibungscoefficienten des Schiebers bedeuten: $F(p-g)fw$, und somit der Widerstand ρ_2 für 1 Q.-Z. der Kolbenfläche: $\rho_2 = \dfrac{F(p-g)fw}{\dfrac{\pi}{4}d^2 L}$

Nun ist aber die Schieberfläche F sehr nahe proportional der Kolbenfläche und eben so der Schieberweg w dem Kolbenlaufe L, d. h. man kann ohne Fehler den Quotienten $\dfrac{Fw}{\pi\dfrac{d^2}{4}L}$ als constant ansehen, und daher $\rho_2 = \gamma(p-g)$ setzen.

Zur Beschleunigung des Dampfes bei der Ausströmung ist für die Secunde eine Arbeit $S\,\dfrac{V^2-v^2}{2g}$ erforderlich, wenn V die Ausströmungsgeschwindigkeit vorstellt; dieser Widerstand kommt jedoch gar nicht in Betracht, da das Gleichgewicht zwischen der äußern und innern Spannung fast momentan hergestellt wird und zu einer Zeit, wo der Kolben bereits keine Geschwindigkeit besitzt.

Zur Beschleunigung des im Cylinder zurückbleibenden Dampfes von der Spannung g, ist hingegen, wenn A den Querschnitt des Cylinders und a jenen der Dampfcanäle bedeutet, da das Volum von 1 Pfund Dampf bei der Spannung $g = \frac{30\cdot1}{\sqrt[12]{g^{11}}}$ und wegen g entweder gleich oder kleiner als 1, auch genau genug $\frac{30\cdot1}{g}$ ist, für den Kolbenlauf eine Arbeit $\frac{A\,L}{144.30\cdot1}\,\frac{\left(\frac{A}{a}v\right)^2 g}{62}$ erforderlich.

Im Mittel kann man $\frac{A}{a} = 25$ setzen, und es ist sodann der Widerstand für 1 Quadratzoll des Kolbens:

$$\rho_3 = \frac{25^2.\,v^2}{144.30\cdot1.62}\,g = 0\cdot0024\,g\,v^2,$$

welcher Widerstand jedoch wegen vorkommenden Verengungen und Erweiterungen bedeutend vergrößert wird, und daher allgemein $\rho_3 = \delta g v^2$ gesetzt werden kann, δ, wie früher α, β und γ, einen Erfahrungscoefficienten vorstellend.

Die Reibungswiderstände der in Bewegung befindlichen Massen sind proportional dem Gewichte derselben und dem Drucke in Folge von Kraftübertragung auf dieselben, endlich noch dem Durchmesser der Zapfen, um welche sich dieselben meist bewegen, und durch welche der von dem Widerstande zurückgelegte Weg bestimmt wird. Nun nehmen aber die Dimensionen jener Theile, die mit relativer Festigkeit in Anspruch genommen werden, wie meistens der Fall, mit der dritten Wurzel des Druckes zu, und es ist somit das Gewicht dem Quadrate aus der dritten Wurzel, also dem $\left(\sqrt[3]{(p-g)\,\frac{d^2\pi}{4}}\right)^2$, und der hieraus erwachsende Widerstand dem Producte aus dem Drucke in den Durchmesser der Zapfen proportional, also dem

$$\sqrt[3]{\left((p-g)\,\frac{d^2}{4}\,\pi\right)^2}\;\sqrt[3]{(p-g)\,\frac{d^2}{4}\,\pi} \text{ oder dem } (p-g)\,\frac{d^2\pi}{4}.$$

Den Druck in Folge von Kraftübertragung auf die einzelnen Zapfen kann man dem Drucke auf die Kolbenfläche, d. h. dem $(p-g)\cdot\frac{d^2\pi}{4}$ proportional ansehen, und somit diese Widerstände für die Flächeneinheit des Kolbens durch $\rho_4 = \varepsilon\,(p-g)$ darstellen.

Der Betrieb der Speisepumpe erfordert, da das Volum des Wassers 400 bis 1600mal kleiner ist als jenes des Dampfes, im Maximum $^1/_2$ Procent des Effectes, und kann daher als unbedeutend vernachlässigt werden. Bei Condensations-Maschinen ist noch die Betriebskraft der Luft- und Kaltwasserpumpe zu berücksichtigen.

Beim Aufziehen des Kolbens der Luftpumpe wirkt auf die obere Fläche desselben die Atmosphäre mit 12·8 Pfund in jedem Quadratzolle und auf die untere Fläche die Spannung im Condensator mit g' Pfunden auf jeden Quadratzoll, es ist also theoretisch ein Druck von $(12\cdot8 - g')$ Pfunden in jedem Quadratzolle der Kolbenfläche zu überwinden; der Reibungswiderstände wegen beträgt jedoch dieser Druck etwas mehr, so daß man denselben gleich $(1+\vartheta)(12\cdot8 - g')$ setzen muß; beim Niederbewegen werden bloß die Reibungswiderstände überwunden, und es ist somit nur der Widerstand von $(12\cdot8 - g')\,\vartheta$ Pfunden zu überwinden.

Nennt man nun d' den Durchmesser und l' den Kolbenlauf der Luftpumpe, so ist für eine Auf- und Abbewegung eine Arbeit

$$[12\cdot8 - g']\,(1+2\vartheta)\,l'\,\frac{d'^2\pi}{4}$$

erforderlich. Nun ist in der Regel $l' = \frac{1}{2}L$ und $\delta' = \frac{2}{3}d$, es wird also dieser Widerstand ρ_5 auf die Flächeneinheit des Dampfkolbens reducirt, da die Kolbenwege in beiden Fällen gleichzeitig beschrieben werden:

$$\rho_5 = [12\cdot8 - g']\,(1+2\delta)\,.\,\frac{\frac{1}{2}\cdot\frac{4}{9}}{2} = 0\cdot111\,[(12\cdot8 - g')]\,(1+2\vartheta)$$
$$= \eta\,(12\cdot8 - g').$$

Die Kaltwasserpumpe beschreibt in der Regel $^1/_{20}$ des Volums vom Dampfcylinder, wodurch beiläufig doppelt so viel Wasser geliefert wird, als theoretisch zur Condensation erforderlich ist; hat nun der Brunnen eine Tiefe von h Fußen und rechnet man wegen Reibung des Kolbens und des Wassers in den Röhren nur 50% Nutzeffect, so erhält man den hieraus entstehenden Widerstand für 1 Quadratzoll der Kolbenfläche $\rho_6 = \frac{1}{2}.0{\cdot}1\,h\,\frac{56\cdot5}{144} = 0\cdot02\,h.$

Alle einzelnen Widerstände summirt, ergeben den Gesammtwiderstand

$$r = \Sigma\rho = \rho + \rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \rho_4 + \rho_5 + \rho_6 = (\alpha+\beta)\,\frac{p-g}{d} +$$
$$+ (\gamma+\varepsilon)\,(p-g) + \delta g v^2 + \eta\,(12\cdot8 - g') + 0{\cdot}02\,h + g', \quad \text{(a)}$$

welcher Ausdruck sich noch einfacher darstellen läßt, indem $(g' + \delta g) = g$ dem Gegendrucke im Cylinder, und für Niederdruckmaschinen, blos mit Condensation ohne gleichzeitige Expansion, wo die Spannung im Cylinder nie viel von jener einer Atmosphäre verschieden ist, kann $(12\cdot8 - g') = (p-g)$ gesetzt werden, so daß allgemein für Maschinen ohne Expansion

$$r = (p-g)\left(\frac{\alpha+\beta}{d} + \gamma + \varepsilon + \eta\right) + 0\cdot02\,h + g$$

oder auch

$$r = (p-g) \times \left(a + \frac{b}{d}\right) + 0\cdot02\,h + g \qquad (1)$$

wird, wo p die Spannung und g den Gegendruck des Dampfes im Cylinder in Pfunden, a und b die Summen der betreffenden Erfahrungscoefficienten bedeuten.

Untersuchen wir nun, in wie weit für Expansionsmaschinen obige Gleichung (a) zu modificiren ist. Das erste Glied entspricht der Kolben- und Stopfbüchsenreibung, und wird ungeändert bleiben, weil die Pressungen der Dichtungsmittel dem größten Drucke entsprechen müssen. Die Reibung des Schiebers kann ebenfalls als nahe dieselbe angenommen werden, nur in dem seltener vorkommenden Falle, wo der Vertheilungsschieber in einem gesonderten Schieberkasten sich bewegt, dürfte die Reibung etwas kleiner sein; im Allgemeinen kann also auch für γ ohne merklichen Fehler derselbe Werth beibehalten bleiben.

Der Widerstand, aus der Reibung der übrigen Maschinentheile entstehend, wird hingegen geringer ausfallen, weil bei derselben Dampfspannung und demselben Durchmesser des Cylinders der Effect im Verhältniß von $\frac{1+\log x}{x}$, wenn x den Expansionsgrad andeutet, kleiner ist, weßhalb die einzelnen Theile der Maschine etwas leichter sein können; eben so wird der Druck aus der Kraftübertragung im Mittel in demselben Verhältnisse wie der Effect geringer, und es wäre für ε zu setzen $\varepsilon' = \left(\frac{1 + \log x}{x}\right)\varepsilon$. Die Betriebskraft für die Kaltwasserpumpe kann ebenfalls als ungeändert betrachtet werden, jene der Luftpumpe hingegen wird kleiner sein, da die Spannung im Condensator meist größer und die Luftpumpe selbst im Verhältniß zum Dampfcylinder kleiner wird, als bei Niederdruckmaschinen.

Der Gesammtwiderstand für 1 Qdr.-Z. der Kolbenfläche läßt sich also auch für Expansionsmaschinen in derselben Art darstellen durch

$$r = \left[\left(\frac{\alpha + \beta}{d}\right) + \gamma + \varepsilon'\right](p - g) + \eta\,(12{\cdot}8 - g') + g + 0{\cdot}02\,h.$$

Dieser Ausdruck ist mit hinreichender Genauigkeit auch so zu schreiben:

$$r = (p - g)\left(a' + \frac{b}{d}\right) + g, \text{ wo } a' = a\left(\frac{1 + \log x}{x}\right);$$

es ist somit der allgemeinste Ausdruck für sämmtliche Widerstände auf die Flächeneinheit des Kolbens gerechnet:

$$r = (p - g)\left(a\left(\frac{1 + \log x}{x}\right) + \frac{b}{d}\right) + g. \qquad (1)$$

Der Dampfverlust geschieht hauptsächlich beim Kolben und Schieber, und zwar ist (nach §. 17), mit δ den Raum zwischen der Kolben- und Cylinderwand bezeichnend, der Dampfverlust zwischen Kolben und Cylinder: $s' = k'\delta\, d\, \pi\, g \sqrt{\dfrac{\log \frac{p}{g}}{\sqrt[12]{p}}}$, oder, $k'\delta\pi = k''$ gesetzt,

$$s' = k'' d g \sqrt{\frac{\log \frac{p}{g}}{\sqrt[12]{p}}}.$$

Aehnlich läßt sich auch der Dampfverlust beim Schieber, und somit der gesammte Verlust durch $s = k d g \sqrt{\dfrac{\log \frac{g}{p}}{\sqrt[12]{p}}}$ darstellen, oder da der Wurzelausdruck nur sehr wenig variabel ist, noch einfacher durch

$$s = m d g \qquad (2)$$

wo nur m für verschiedene Systeme etwas andere Werthe zu erhalten hat.

Mit Einführung dieser Ausdrücke für r und s in die Gleichungen (A) und (B), p und g in Atmosphären, d in Zollen und v in Fußen voraussetzend, werden folgende Relationen erhalten:

Für Dampfverbrauch in einer Secunde in Pfunden:

$$S = 0{\cdot}000182\, d^2 v \frac{l + \lambda}{L} \sqrt[12]{p^{11}} + m d g. \qquad (I)$$

Für Effect der Maschine in Pferdekräften:

$$N = 0{\cdot}02365\, d^2 p v \times$$

$$\left[1 + \frac{1}{L}\log\frac{L}{l} - \frac{(p - g)\left\{\alpha \frac{1}{L}\left(1 + \log\frac{L}{l}\right) + \frac{\beta}{d}\right\} + g}{p}\right]. \qquad (II)$$

Nach diesen Analogien nimmt die verbrauchte Dampfmenge etwas langsamer als mit $\sqrt[12]{p^{11}}$ zu; dagegen wächst der Effect etwas schneller als p, weil auch der negative Theil der Gleichung mit der Zunahme von p abnimmt, es ist also eine große Dampfspannung dem Nutzeffect günstig. Mit dem Cylinderdurchmesser nimmt ebenfalls der Effect rascher zu als das verbrauchte Dampfquantum, es ist also auch ein großer Cylinderdurchmesser vortheilhafter.

Die Zunahme der Geschwindigkeit bedingt zwar verhältnißmäßig kleinern Dampfverbrauch, dagegen wird aber der Gegendruck g etwas größer, und dadurch der Effect etwas kleiner; es hat also eine nicht zu bedeutende Geschwindigkeitsänderung, so lange Spannung und Durchmesser des Cylinders gleich bleiben, wenig Einfluß auf den Effect.

Ferner vermehrt eine Verkleinerung des schädlichen Raumes λ, eine Verringerung des Gegendruckes g (also vollkommenere Condensation), und möglichst weit getriebene Expansion den Nutzeffect der Dampfmaschinen.

Kurz gefaßt werden also Hochdruckmaschinen mit Condensation und Expansion den günstigsten Effect geben, und zwar je mehr sich Spannung der Dämpfe, Condensation und Expansion dem Maximum nähern.

Das Maximum der Spannung und der Condensation ist durch die Natur der Sache bedingt, das Maximum der Expansion dagegen hängt von der Construction der Maschine und von den Reibungswiderständen an derselben ab, und ist in dem Quotienten

$$\frac{p}{(p - g)\left(\alpha + \frac{\beta}{d}\right) + g}$$

beschränkt.

§. 20. Watt'sche Niederdruck-Maschinen. Die allgemeine Formel zur Berechnung des Nutzeffectes der Dampfmaschinen dieser Gattung anzupassen, welche mit Condensation und ohne Expansion arbeiten, ist unter g der Gegendruck von Seite des Condensators zu verstehen und $l = L$ zu setzen.

Eben so kann, der Erfahrung zufolge, der Coefficient $\alpha = 0{\cdot}15$ und $\beta = 1{\cdot}2$ gesetzt werden; der Dampfverlust s ist, da der Gegendruck bei verschiedenen dieser Maschinen nur wenig variirt, als dem Durchmesser des Dampfcylinders proportional anzunehmen, und er beträgt bei einem Cylinderdurchmesser von 20'' beiläufig 10 Procent des nutzbaren Dampfes oder 0·024 Pfund für die Secunde, man kann somit $s = 0{\cdot}0012\, d$ setzen.

Der schädliche Raum beträgt in der Regel $^1/_{20}$ des Kolbenhubes, und es ist daher λ mit $0{\cdot}05\, L$ in Rechnung zu bringen.

Die Spannung p, so wie der Gegendruck g im Cylinder lassen sich am sichersten durch den Dampfindicator ermitteln, übrigens wird die Spannung p stets zwischen 12 und 16 Pfund und g zwischen 3 und 4 Pfund für den Quadratzoll liegen; ferner läßt sich p, wenn die in der Secunde verbrauchte Dampfmenge S, die Geschwindigkeit v und der Durchmesser d des Kolbens bekannt sind, aus der folgenden Relation (II) bestimmen, wie weiter unten ein Beispiel zeigen wird.

Endlich ist es erlaubt, p statt $\sqrt[12]{p^{11}}$ zu setzen, da die Spannung p, wie bemerkt, nie viel von jener einer Atmosphäre abweicht, also p stets nahezu 1 ist, womit zugleich, wie es für Niederdruckmaschinen mehr gebräuchlich, p und g in Pfunden ausgedrückt, für die Berechnung der Watt'schen Niederdruckmaschinen folgende Formeln sich ergeben.

Anzahl der Pferdekräfte:

$$N = v(p - g)\{0{\cdot}00156\, d^2 - 0{\cdot}00222\, d\}. \qquad (I)$$

Dampfverbrauch für die Secunde in Pfunden:

$$S = vp\{0{\cdot}000015\, d^2 - 0{\cdot}00003\, d\}. \qquad (II)$$

Verdampftes Wasser für die Stunde in Cubikfuß:

$$M = vp\{0{\cdot}00096\, d^2 - 0{\cdot}00191\, d\}. \qquad (III)$$

Die Heizkraft guter Steinkohle im Mittel zu 6400 Wärmeeinheiten vorausgesetzt, und hiervon 60 Procent als nutzbar angenommen, so ergibt sich zur Verwandlung von 1 Pfund Wasser in Dampf von der bei Niederdruckmaschinen vorkommenden Spannung, bei 640 Wärmeeinheiten erforderlich gerechnet, der Kohlenverbrauch für die Stunde:

$$K = \frac{3600\,S \,.\, 640}{6400 \,.\, 0{\cdot}6} = 600 \,.\, S,$$

oder

$$K = vp\left\{0{\cdot}009\,d^2 + 0{\cdot}018\,d\right\}. \qquad \text{(IV)}$$

Die Resultate dieser Formeln für verschiedene Durchmesser der Dampfcylinder sind in folgender Tabelle enthalten, in welcher N die Anzahl der Pferdekräfte, S die verbrauchte Dampfmenge per Secunde in Pfunden, m dieselbe in Cubikfuß, M die per Stunde verdampfte Wassermenge in Cubikfuß, K den Kohlenverbrauch per Stunde in Pfunden, und k den Kohlenverbrauch per Stunde und Pferdekraft bezeichnet:

Tabelle I.

d	$\frac{N}{v(p-g)}$	$\frac{S}{vp}$	$\frac{m}{v}$	$\frac{M}{vp}$	$\frac{K}{vp}$	$\frac{k/p}{p-g}$
12	0·200	0·00252	0·968	0·1609	1·512	7·57
13	0·237	0·00292	1·121	0·1864	1·752	7·40
14	0·267	0·00336	1·289	0·2145	2·016	7·28
15	0·320	0·00382	1·467	0·2438	2·292	7·16
16	0·367	0·00432	1·658	0·2757	2·592	7·06
17	0·417	0·00484	1·858	0·3089	2·904	6·97
18	0·469	0·00540	2·072	0·3447	3·240	6·90
19	0·525	0·00598	2·295	0·3817	3·588	6·83
20	0·584	0·00660	2·532	0·4213	3·960	6·78
21	0·647	0·00724	2·778	0·4621	4·344	6·72
22	0·712	0·00792	3·040	0·5055	4·752	6·67
23	0·780	0·00862	3·309	0·5502	5·172	6·63
24	0·852	0·00936	3·592	0·5974	5·616	6·59
26	1·005	0·01092	4·191	0·6970	6·552	6·52
28	1·170	0·01260	4·209	0·8043	7·560	6·46
30	1·348	0·01440	5·526	0·9191	8·640	6·40
32	1·539	0·01632	6·263	1·0417	9·792	6·36
34	1·742	0·01836	7·046	1·1719	11·016	6·32
36	1·957	0·02052	7·875	1·8098	12·812	6·29
38	2·185	0·02280	8·250	1·4558	13·680	6·26
40	2·426	0·02520	9·671	1·6085	15·120	6·23
42	2·680	0·02772	10·639	1·7694	16·632	6·20
44	2·946	0·03036	11·651	1·9369	18·216	6·18
46	3·224	0·03312	12·749	2·1140	19·872	6·16
48	3·515	0·03600	13·816	2·2979	21·600	6·14
50	3·819	0·03900	14·968	2·4894	23·400	6·13
52	4·135	0·04212	16·165	2·6888	25·272	6·11
54	4·464	0·04536	17·408	2·8953	27·216	6·10
56	4·805	0·04872	18·698	3·1098	29·232	6·08
58	5·160	0·05220	20·033	3·3319	31·320	6·07
60	5·526	0·05580	21·414	3·5617	33·480	6·06

Um eine Anwendung obiger Formeln zu zeigen, möge die von Watt für die Albion Mills zu London construirte Maschine dienen; die Dimensionen dieser Maschine sind folgende:

Durchmesser des Cylinders $d = 32{\cdot}78''$.

Kolbenhub . . . . $L = 7'{\cdot}712 = 7'\,8{\cdot}54''$.

Schädlicher Raum . . . . $\lambda = 0{\cdot}05\,L$.

Geschwindigkeit des Kolbens $v = 3'{\cdot}33$.

Spannung des Dampfes im Kessel 14·38 Pfund per Q.-Z.

Wird der Gegendruck g zu 3·38 Pfund angenommen, so ist: $p - g = 11$ Pfd. und $(p - g)\,v = 36{\cdot}66$, also $vp = 47{\cdot}9$; weiters gibt die Tabelle für $d = 32{\cdot}78$:

$\frac{N}{v(p-g)} = 1{\cdot}61$ woraus $N = 1{\cdot}61 \times 36{\cdot}66 = 59$ Pferdekräfte

$\frac{S}{vp} = 0{\cdot}017$ „ $S = 0{\cdot}017 \times 47{\cdot}9 = 0{\cdot}815$ Pfd. für die Secunde

$\frac{M}{vp} = 1{\cdot}09$ „ $M = 0{\cdot}9 \times 47{\cdot}9 = 52{\cdot}2^{c'}$ Wasser in der Stunde

$\frac{K}{vp} = 10{\cdot}20$ „ $K = 10{\cdot}2 \times 47{\cdot}9 = 489$ Pfund für die Stunde

$\frac{p-g}{p}\,k = 6{\cdot}345$ „ $k = 6{\cdot}345 \times \frac{14{\cdot}38}{11} = 8{\cdot}3$ Pfund für die Stunde und Pferdekraft.

Wir haben bei dieser Berechnung vorausgesetzt, daß die Spannung der Dämpfe im Cylinder eben so groß wie im Kessel sei, wodurch bei der gegebenen Spannung jedenfalls der größte Nutzeffect bei derselben Verdampfungsmenge erzielt wird.

Geben wir der Maschine bei derselben Verdampfung von 0·815 Pfund in der Secunde eine größere Geschwindigkeit, z. B. 4·5 Fuß, so folgt wegen: $\frac{S}{vp} = 0{\cdot}017$, $\frac{0{\cdot}815}{4{\cdot}5 \times 0{\cdot}017} = p$ oder $p = 10{\cdot}6$ Pfund und daher $p - g = 7{\cdot}3$.

Wir erhalten somit bei derselben Dampferzeugung und also auch demselben Kohlenverbrauche bei der Geschwindigkeit 4·5,

$$\frac{N}{v(p-g)} = 1{\cdot}61$$

oder $N = 54$, und es ist somit jetzt der Kohlenverbrauch für die Stunde und Pferdekraft: $\frac{489}{54} = 9{\cdot}06$ Pfd., d. h. es ist der Nutzeffect im Verhältniß von 8·3 zu 9·06 geringer als im vorhergehenden Falle.

Hätte man hingegen in demselben Verhältnisse wie die Geschwindigkeit auch die Verdampfung gesteigert, so wäre auch die Spannung im Cylinder dieselbe, nämlich 14·38 Pfund für den Quadratzoll geblieben, der Effect in Pferdekräften hätte also auch wie die Geschwindigkeit zugenommen, und der Kohlenverbrauch für die Stunde und Pferdekraft würde wie oben nur 8·3 Pfund sein. Diese Verhältnisse wurden auch dort vorausgesetzt, wo behauptet wurde, daß die Geschwindigkeit auf den Effect nur sehr wenig Einfluß habe.

§. 21. Bei Hochdruck-Maschinen ohne Expansion und ohne Condensation wirkt der Dampf, gewöhnlich eine Spannung von 3 bis 8 Atmosphären oder von 38 bis 100 Pfund auf den Quadratzoll entwickelnd, während des ganzen Hubes mit gleicher Stärke auf den Kolben, und entweicht nachher frei in die Atmosphäre; es ist also in der allgemeinen Formel $l = L$ und $g = 1$ Atmosphäre zu setzen.

Die Widerstandscoefficienten α und β kann man erfahrungsmäßig mit $\alpha = 0\cdot$ und $\beta = 1$ in Rechnung bringen. Der Dampfverlust s wird bei gleichem Durchmesser bedeutend größer als bei Niederdruckmaschinen und zwar in dem Verhältnisse, als der Gegendruck g größer ist; nun kann man aber dies Verhältniß im Mittel zu 3·5 annehmen, und es wird somit für Hochdruckmaschinen $s = 0{\cdot}004\,d$ sein.

Für diese Werthe übergehen die allgemeinen Formeln, p und g in Atmosphären verstanden, zur Berechnung der Hochdruckmaschinen ohne Expansion und ohne Condensation in folgende Formeln:

Anzahl der Pferdekräfte:

$$N = v(p-1)\{0·02025\,d^2 - 0·02355\,d\}. \qquad \text{(I)}$$

Dampfverbrauch für die Secunde in Pfunden:

$$S = v\sqrt[12]{p^{11}}\{0·00019\,d^2 + 0·0004\,d\}. \qquad \text{(II)}$$

Verdampftes Wasser in der Stunde in Cubikfußen:

$$M = v\sqrt[12]{p^{11}}\{0·0121\,d^2 + 0·0255\,d\}. \qquad \text{(III)}$$

Kohlenverbrauch für die Stunde:

$$K = v\sqrt[12]{p^{11}}\{0·1111\,d^2 + 0·24\,d\}. \qquad \text{(IV)}$$

Diese Formeln geben für die in der Tabelle angesetzten Werthe für d nachstehende Resultate. (Die Bedeutung der Buchstaben ist in dieser dieselbe wie in Tabelle I).

Tabelle II.

d	$\frac{N}{v(p-1)}$	$\frac{S}{v\sqrt[12]{p^{11}}}$	$\frac{m}{v}$	$\frac{M}{v\sqrt[12]{p^{11}}}$	$\frac{K}{v\sqrt[12]{p^{11}}}$	$\frac{k}{\frac{\sqrt[12]{p^{11}}}{(p-1)}}$
5	0·358	0·00675	0·203175	0·4308525	4·09	10·54
6	0·587	0·00924	0·278124	0·5897894	5·61	9·55
7	0·827	0·01211	0·364511	0·7729813	7·39	8·93
8	1·107	0·0153	0·46053	0·976599	9·33	8·42
9	1·428	0·0189	0·56889	1·206387	11·53	8·07
10	1·789	0·0230	0·6923	1·468090	14·03	7·84
11	2·190	0·0273	0·82113	1·742559	16·65	7·60
12	2·633	0·0321	0·96621	2·048943	19·58	7·43
13	3·015	0·0373	1·12273	2·380859	22·75	7·30
14	3·639	0·0428	1·28828	2·731924	26·11	7·17
15	4·202	0·0487	1·46587	3·108521	29·71	7·07
16	4·807	0·0550	1·6555	3·510650	33·55	6·98
17	5·441	0·0617	1·85777	3·938311	37·64	6·91
18	6·137	0·0687	2·06787	4·385121	41·90	6·82
19	6·862	0·0761	2·29061	4·857463	46·42	6·79
20	7·629	0·0840	2·67890	5·360720	51·24	6·73
21	8·435	0·0921	2·77221	5·878743	56·18	6·66
22	9·282	0·1007	3·03107	6·427681	61·43	6·60
23	10·169	0·1097	3·30197	7·002151	66·92	6·58
24	11·094	0·1191	3·58491	7·602153	72·59	6·54
26	13·067	0·1388	4·17788	8·859604	84·67	6·48
28	15·211	0·1601	4·81901	10·219183	97·66	6·42
30	17·414	0·1830	5·50830	11·680890	111·63	6·41
32	19·976	0·2073	6·23973	13·231959	126·45	6·38
34	22·600	0·2332	7·01932	14·885156	142·25	6·29
36	25·392	0·2606	7·84406	16·634098	158·97	6·26
40	31·458	0·3200	9·63200	20·425600	195·44	6·21
44	38·164	0·3854	11·60054	24·600082	235·09	6·16
48	45·520	0·4570	13·75570	29·170310	278·77	6·12
52	53·526	0·5345	16·08845	34·117135	326·05	6·09
56	62·282	0·6182	18·60782	39·459706	377·10	6·05
60	71·487	0·7080	21·3108	45·171640	431·88	6·04

Beispiel. Bei einer Hochdruckmaschine ohne Expansion und ohne Condensation beträgt

der Durchmesser des Dampfcylinders .	15‴·424
der Kolbenhub	2′·882
die Geschwindigkeit des Kolbens . .	2′·1
die Dampfspannung im Kessel . . .	47·5 Pfd. auf den

Quadratzoll, oder 3·725 Atmosphären.

Es ist somit $(p-1) = 2·725$, $\sqrt[12]{p^{11}} = 3·338$ und $v(p-1) = 5·722$, $v\sqrt[12]{p^{11}} = 7·01$.

Die Tabelle gibt nun für $d = 15·424$:

$\frac{N}{v(p-1)} = 4·45$ und es ist somit $N = 4·45 \times 5·722 = 25·5$ Pferdekraft.

$\frac{S}{v\sqrt[12]{p^{11}}} = 0·051$ „ „ „ „ $S = 0·051 \times 7·01 = 0·3575$ in der Sec.

$\frac{M}{v\sqrt[12]{p^{11}}} = 3·3$ „ „ „ „ $M = 3·3 \times 7·01 = 23·4$ Cbkf. in d. St.

oder 0·39 Cubikfuß in der Minute.

$\frac{K}{v\sqrt[12]{p^{11}}} = 31·4$ und es ist somit $K = 31·4 \times 7·01 = 220$ Pfd. für d. St.,

also auch $k = \frac{220}{25·5} = 8·63$ Pfd. für die Stunde und Pferdekraft.

Vergrößert man die Geschwindigkeit ohne die Verdampfungsmenge zu ändern, so wird dadurch der Effect merklich vermindert.

Etwa $v = 4'$ gesetzt, gibt die Spannung p im Cylinder nur mehr 1·85 Atmosphären und den Effect $N = 15·13$ Pferdekräfte.

Der Kohlenverbrauch für die Stunde und Pferdekraft wäre nun 14·6 Pfund.

Hochdruckmaschinen mit Expansion. Die allgemeinen Formeln für diese Art Maschinen zu gebrauchen, ist, da keine Condensation stattfindet, $g = 1$ zu setzen. Für β und λ können dieselben Werthe wie vorhin beibehalten werden; der Werth von α hingegen ist mit $\left(1 + \log\frac{L}{l}\right)\frac{l}{L}$ zu multipliciren, weil dieser Coefficient nahezu dem Effect der Maschine proportional ist.

Der Dampfverlust s ist bis zur Absperrung des Dampfes derselbe wie bei der vorhergehenden Maschine; während der Expansion dagegen hat der Dampfdurchgang zwischen Kolben und Cylinder keinen Einfluß mehr auf den Dampfverlust, sondern nur auf den Effect der Maschine. Der Dampfverlust beim Schieber wird während des ganzen Kolbenlaufes gleich sein, so daß dieser beinahe auf die Hälfte des Gesammtverlustes angesetzt werden kann, womit $s = 0·0025\left(1 + \frac{l}{L}\right)d$ wird. —

Bezeichnet x der Kürze halber $\frac{L}{l}$ den Expansionsgrad, so sind die Formeln zur Berechnung der Hochdruckmaschinen mit Expansion folgende:

Anzahl der Pferdekräfte:

$$N = 0·03\,Avp\left\{\frac{1}{x} + \frac{\log x}{x} - \frac{p-1}{p}\left(0·14\left(\frac{1+\log x}{x}\right) + \frac{1}{d}\right) - \frac{1}{p}\right\}. \quad \text{(I)}$$

Verbrauchter Dampf für die Secunde:

$$S = 0·0002313\,Av\sqrt[12]{p^{11}}\left\{\frac{1}{x} + 0·05\right\} + 0·0025\left(1 + \frac{1}{x}\right)d. \quad \text{(II)}$$

Verdampftes Wasser in der Stunde in Cubikfußen:

$$M = 0·0148\,Av\sqrt[12]{p^{11}}\left\{\frac{1}{x} + 0·05\right\} + 0·16\left(1 + \frac{1}{x}\right)d. \quad \text{(III)}$$

Kohlenverbrauch für die Stunde:

$$K = 0·141\,Av\sqrt[12]{p^{11}}\left(\frac{1}{x} + 0·05\right) + 1·5\left(1 + \frac{1}{x}\right)d. \quad \text{(IV)}$$

Für bestimmte Expansionsgrade lassen sich die Formeln leicht auch auf die Form für die früheren Arten von Maschinen bringen, und zwar wird:

$$\frac{N}{v(p-g)}\begin{cases}= 0{\cdot}0152\,d^2 - 0{\cdot}02355\,d, & \text{für 2fache}\\ = 0{\cdot}0121\,d^2 - 0{\cdot}02355\,d, & „\ 3\ “\\ = 0{\cdot}01\,d^2 - 0{\cdot}02355\,d, & „\ 4\ “\end{cases}\ \text{Expans. (1)}$$

$$\frac{S}{v\sqrt[12]{p^{11}}}\begin{cases}= 0{\cdot}00009\,d^2 + 0{\cdot}0003\,d, & „\ \text{2fache}\\ = 0{\cdot}000069\,d^2 + 0{\cdot}00026\,d, & „\ 3\ “\\ = 0{\cdot}0000544\,d^2 + 0{\cdot}00022\,d, & „\ 4\ “\end{cases}\ \text{Expans. (2)}$$

$$\frac{M}{v\sqrt[12]{p^{11}}}\begin{cases}= 0{\cdot}00574\,d^2 + 0{\cdot}0191\,d, & „\ \text{2fache}\\ = 0{\cdot}00440\,d^2 + 0{\cdot}0166\,d, & „\ 3\ “\\ = 0{\cdot}00347\,d^2 + 0{\cdot}0140\,d, & „\ 4\ “\end{cases}\ \text{Expans. (3)}$$

$$\frac{K}{v\sqrt[12]{p^{11}}}\begin{cases}= 0{\cdot}0526\,d^2 + 0{\cdot}1755\,d, & „\ \text{2fache}\\ = 0{\cdot}0404\,d^2 + 0{\cdot}1521\,d, & „\ 3\ “\\ = 0{\cdot}03182\,d^2 + 0{\cdot}1287\,d, & „\ 4\ “\end{cases}\ \text{Expans. (4)}$$

Diese Ausdrücke für verschiedene Werthe von d entwickelt und die Resultate zusammengestellt, geben folgende Tabelle.

Tabelle III.

d	$\frac{N}{v(p-1)}$ für x =			$\frac{S}{v\sqrt[12]{p^{11}}}$ für x =			$\frac{M}{v\sqrt[12]{p^{11}}}$ für x =		
	2	3	4fache Exp.	2	3	4fache Exp.	2	3	4fache Exp.
10	1·284	0·974	0·764	0·01200	0·0095	0·0077	0·77	0·61	0·49
11	1·580	1·205	0·951	·0142	·0112	·0090	0·91	0·72	0·57
12	1·906	1·459	1·157	·0166	·0131	·0105	1·05	0·83	0·67
13	2·262	1·738	1·383	·0191	·0151	·0121	1·22	0·99	0·77
14	2·649	2·042	1·630	·0218	·0172	·0138	1·39	1·09	0·88
15	3·066	2·369	1·896	·0247	·0194	·0156	1·58	1·26	0·99
16	3·514	2·720	2·183	·0278	·0218	·0175	1·78	1·39	1·11
17	3·992	3·096	2·489	·0311	·0244	·0195	1·98	1·55	1·24
18	4·500	3·496	2·816	·0345	·0271	·0216	2·21	1·73	1·38
19	5·039	3·920	3·162	·0382	·0299	·0238	2·44	1·90	1·52
20	5·609	4·369	3·529	·0420	·0328	·0262	2·68	2·09	1·67
21	6·208	4·841	3·915	·0457	·0359	·0286	2·92	2·29	1·83
22	6·838	5·338	4·321	·0502	·0391	·0312	3·20	2·50	1·99
23	7·499	5·859	4·748	·0545	·0425	·0339	3·48	2·71	2·16
24	8·190	6·404	5·194	·0590	·0460	·0366	3·77	2·93	2·34
26	9·662	7·567	6·147	·0686	·0534	·0425	4·38	3·41	2·71
28	11·257	8·827	7·180	·0790	·0614	·0488	5·04	3·92	3·10
30	12·973	10·183	8·923	·0900	·0699	·0556	5·74	4·46	3·54
32	14·811	11·637	9·486	·1017	·0790	·0628	6·49	5·04	4·01
34	16·790	13·186	10·579	·1142	·0886	·0704	7·50	5·65	4·50
36	18·851	14·834	12·112	·1274	·0988	·0784	8·13	6·30	5·00
38	21·054	16·577	13·545	·1414	·1095	·0869	9·02	6·99	5·55
40	23·378	18·418	15·058	·1640	·1162	·0959	10·46	7·42	6·11
44	28·890	22·390	18·323	·1876	·1450	·1150	11·97	9·25	7·34
48	33·890	26·747	21·909	·2218	·1715	·1359	14·15	10·94	8·67
52	39·876	31·494	25·815	·2590	·2000	·1585	16·52	12·77	10·12
56	46·348	36·627	30·041	·2990	·2309	·1829	19·08	14·64	11·67
60	53·307	42·147	34·587	·3420	·2634	·2090	21·82	16·80	13·34

Beispiel. Wie viel Pferdekräfte gibt eine Hochdruckmaschine mit Expansion, wenn der Durchmesser $d = 15''$, die Spannung im Cylinder $p = 4$ Atmosphären, die Geschwindigkeit $v = 3'{\cdot}23$ und die Expansion zweifach, d. h. $x = 2$ ist?

Es ist in diesem Falle $(p - 1) = 3$, $\sqrt[12]{p^{11}} = 3{\cdot}5636$ also $v(p - 1) = 10$ und $v\sqrt[12]{p^{11}} = 10{\cdot}6908$. Aus der Tabelle ist nun für $d = 15$ und $x = 2$: $\frac{N}{v(p-1)} = 3{\cdot}066$ mithin $N = 30{\cdot}66$, $\frac{S}{v(\sqrt[12]{p^{11}})} = 0{\cdot}0247$ mithin $S = 0{\cdot}264$ Pfund; $\frac{M}{v\sqrt[12]{p^{11}}} = 1{\cdot}58$, mithin $M = 16{\cdot}9^{c'}$.

Der Kohlenverbrauch für die Stunde ist bei 600 S oder auch nahe 10 M: diese Rechnung ist stets genau genug für Kohlen, die auf je ein Pfund 6000 Wärmeeinheiten liefern. Es wäre also hier $K = 160$ Pfund, folglich der Kohlenverbrauch für die Stunde und Pferdekraft $K = 160 : 30{\cdot}66 = 5{\cdot}2$ Pfund.

Hochdruckmaschinen mit Expansion und Condensation. Da eine solche Maschine bei der Ableitung der Formeln vorausgesetzt wurde, so erübriget nur, für die einzelnen Coefficienten die entsprechenden numerischen Werthe aufzustellen, um sogleich die eigentlichen Formeln für die Berechnung dieser Maschinen zu erhalten. Für α, β und λ können dieselben Werthe aus dem vorigen Falle beibehalten werden und g ist der Gegendruck aus dem Condensator in Atmosphären.

Der Dampfverlust läßt sich wie bei Hochdruckmaschinen mit Expansion ableiten, und es wird dessen Coefficient 0·0025 nur durch 4 zu dividiren sein; weil der Gegendruck auch nur beiläufig ¼ Atmosphäre, d. h. den vierten Theil jenes im vorigen Falle ist; es wird somit $s = 0 \cdot 0006 \left(1 + \frac{1}{L}\right) d$ zu setzen sein.

Diese Betrachtungen führen auf folgende Relationen zur Berechnung einer Hochdruckmaschine mit Expansion und Condensation.

Anzahl der Pferdekräfte:

$$N = 0 \cdot 03\, A v p \left\{\frac{1}{x} + \frac{\log x}{x} - \frac{p - g}{p}\left(0 \cdot 14\, \frac{1 + \log x}{x} + \frac{1}{d}\right) - \frac{g}{p}\right\}. \quad \text{(I)}$$

Verbrauchte Dampfmenge:

$$S = 0 \cdot 0002313\, A v \sqrt[12]{p^{11}} \left(\frac{1}{x} + 0 \cdot 05\right) + 0 \cdot 0006 \left(1 + \frac{1}{x}\right) d. \quad \text{(II)}$$

Verdampftes Wasser in der Stunde in Cubikfußen:

$$M = 0 \cdot 0148\, A v \sqrt[12]{p^{11}} \left(\frac{1}{x} + 0 \cdot 05\right) + 0 \cdot 0382 \left(1 + \frac{1}{x}\right) d. \quad \text{(III)}$$

Kohlenmenge für die Stunde:

$$K = 0 \cdot 141\, A v \sqrt[12]{p^{11}} \left(\frac{1}{x} + 0 \cdot 05\right) + 0 \cdot 36 \left(1 + \frac{1}{x}\right) d. \quad \text{(IV)}$$

Für bestimmte Expansionsgrade können ohne große Fehler die Formeln auf die vorige einfachere Form gebracht werden, als:

Hilfsgröße zum Behufe der Berechnung des Effectes der Dampfmaschine in Pferdekräften, wenn die Spannung des Dampfes und die Kolbengeschwindigkeit gegeben sind

$$\frac{N}{v \sqrt[12]{p^{11}}} \begin{cases} = 0 \cdot 01100\, d^2 & - 0 \cdot 02355\, d, \text{ für 4fache} \\ = 0 \cdot 00952\, d^2 & - 0 \cdot 02355\, d, \;\text{„ 5 „} \\ = 0 \cdot 00840\, d^2 & - 0 \cdot 02355\, d, \;\text{„ 6 „} \\ = 0 \cdot 00694\, d^2 & - 0 \cdot 02355\, d, \;\text{„ 8 „} \end{cases} \text{Expans.} \quad (1)$$

Hilfsgröße zur Berechnung der für den Nutzeffect der Dampfmaschine verbrauchten Dampfmenge nach Pfunden für jede Secunde bei gegebener Spannung des wirkenden Dampfes und bei gegebener Kolbengeschwindigkeit

$$\frac{S}{v \sqrt[12]{p^{11}}} \begin{cases} = 0 \cdot 0000544\, d^2 + 0 \cdot 00015\, d, & \text{„ 4fache} \\ = 0 \cdot 0000453\, d^2 + 0 \cdot 00013\, d, & \text{„ 5 „} \\ = 0 \cdot 0000392\, d^2 + 0 \cdot 00011\, d, & \text{„ 6 „} \\ = 0 \cdot 0000317\, d^2 + 0 \cdot 00008\, d, & \text{„ 8 „} \end{cases} \text{Expans.} \quad (2)$$

Hilfsgröße zur Berechnung der, für eine gegebene Dampfspannung und Kolbengeschwindigkeit, nöthigen Wassermenge in Cubikfußen für jede Stunde zur Erzielung des berechneten Effectes der Maschine

$$\frac{M}{v \sqrt[12]{p^{11}}} \begin{cases} = 0 \cdot 00347\, d^2 & + 0 \cdot 00956\, d, \text{ „ 4fache} \\ = 0 \cdot 00289\, d^2 & + 0 \cdot 00828\, d, \text{ „ 5 „} \\ = 0 \cdot 00250\, d^2 & + 0 \cdot 00708\, d, \text{ „ 6 „} \\ = 0 \cdot 00202\, d^2 & + 0 \cdot 00510\, d, \text{ „ 8 „} \end{cases} \text{Expans.} \quad (3)$$

Hilfsgröße für die Berechnung des Kohlenbedarfes nach Pfunden in jeder Stunde zur Erzielung des berechneten Effectes der Maschine, wenn die Dampfspannung und die Kolbengeschwindigkeit gegeben sind

$$\frac{K}{v \sqrt[12]{p^{11}}} \begin{cases} = 0 \cdot 03182\, d^2 & + 0 \cdot 08775\, d, \text{ „ 4fache} \\ = 0 \cdot 02650\, d^2 & + 0 \cdot 07605\, d, \text{ „ 5 „} \\ = 0 \cdot 02293\, d^2 & + 0 \cdot 06435\, d, \text{ „ 6 „} \\ = 0 \cdot 01855\, d^2 & + 0 \cdot 04680\, d, \text{ „ 8 „} \end{cases} \text{Expans.} \quad (4)$$

Zum Behufe der Bildung einer Tabelle, um mit Hilfe dieser die Lösung vorkommender Aufgaben mit geringem Mühe und Zeitaufwande zu erlangen, ist blos erforderlich, von den vorstehenden vier Gruppen der zur Berechnung nöthigen Formeln nur die ersten beiden zu Grunde zu legen und in eine Tafel zu bringen, da aus dem aus der Gruppe (2) entwickelten Werthe S in Pfunden für eine Secunde die erforderliche Wassermenge in Cubikfußen zur Dampfbildung für die Stunde durch eine einfache Multiplication der gedachten Größe S durch die Zahl 63·7 sich ergibt. Eben so erhält man auch den Kohlenbedarf in Pfunden für die Stunde mit ausreichender Genauigkeit, wenn eben diese ermittelte Größe S durch die Zahl 600 vervielfacht wird. Es genügen also die beiden ersten Gruppen, welche wieder, für verschiedene d berechnet, die folgende tabellarische Aufstellung gestatten:

Tabelle IV.

d	$\frac{N}{v(p-g)}$ für x = 4	5	6	8f. Exp.	$\frac{S}{v\sqrt[12]{p^{11}}}$ für x = 4	5	6	8f. Exp.
10	0·864	0·716	0·645	0·459	0·007	0·006	0·005	0·004
11	1·072	0·873	0·757	0·581	·008	·007	·006	·005
12	1·301	1·091	0·927	0·717	·009	·008	·007	·006
13	1·552	1·303	1·113	0·867	·011	·009	·008	·006
14	1·826	1·536	1·317	1·031	·013	·011	·009	·007
15	2·121	1·789	1·537	1·208	·015	·012	·010	·008
16	2·439	2·060	1·774	1·310	·016	·014	·012	·009
17	2·778	2·345	2·027	1·605	·018	·015	·013	·011
18	3·140	2·661	2·298	1·824	·020	·017	·015	·012
19	3·524	2·989	2·585	2·058	·023	·019	·016	·013
20	3·929	3·337	2·889	2·305	·025	·021	·018	·014
21	4·346	3·704	3·210	2·566	·027	·022	·019	·016
22	4·806	4·090	3·548	2·841	·030	·025	·021	·016
23	5·277	4·494	3·902	3·130	·032	·027	·023	·019
24	5·771	4·918	4·273	3·432	·035	·029	·025	·020
26	6·824	5·823	5·066	4·079	·041	·034	·029	·024
28	7·965	6·804	5·876	4·782	·047	·039	·034	·027
30	9·194	7·862	6·853	5·539	·054	·045	·039	·031
32	10·510	8·995	7·848	6·353	·061	·051	·044	·035
34	11·915	10·204	8·909	7·222	·068	·057	·049	·039
36	13·408	11·490	10·039	8·146	·076	·063	·055	·044
40	16·652	14·290	12·498	10·162	·093	·078	·067	·054
44	20·340	17·309	15·226	12·390	·112	·093	·080	·065
48	24·214	20·804	18·223	14·869	·133	·111	·096	·077
52	28·519	24·517	21·489	17·741	·155	·130	·112	·090
56	33·177	28·536	25·024	20·445	·179	·149	·129	·104
60	38·187	32·859	28·827	23·571	·205	·171	·148	·119
64	43·549	37·487	32·899	26·919	·232	·194	·168	·135

Beispiel. Für ein industrielles Etablissement wird eine Hochdruckmaschine mit Expansion und Condensation von 40 Pferdekräften benöthiget, welche in der Minute 36 Umdrehungen machen soll.

Es sei die Spannung $p = 3\,{}^1\!/_2$ Atmosph., $v = 4 \cdot 2$ und 5fache Expansion oder $x = 5$, so wird der Kolbenhub $= \frac{60 \times 4 \cdot 2}{36 \times 2} = 3 \cdot 5$ Fuß, $(p - 1) = 2 \cdot 5$, $\sqrt[12]{p^{11}} = 3 \cdot 153$, $v(p - 1) = 10 \cdot 5$ und $v\sqrt[12]{p^{11}} = 13 \cdot 24$ und daher $\frac{N}{v(p-1)} = \frac{40}{10 \cdot 5} = 3 \cdot 81$ sein, welchem Werthe in der Colonne für $x = 5$ in der Tabelle ein Durchmesser $d = 21 \cdot 3''$ entspricht, und diesem weiter $\frac{S}{v\sqrt[12]{p^{11}}} = 0 \cdot 0234$ also $S = 0 \cdot 31$ Pfund zugehört. Diese Zahl mit 600 multiplicirt, gibt ferner den Kohlenverbrauch in der Stunde.

Es ist daher $K = 186$ Pfund und also der Kohlenverbrauch für die Stunde und Pferdekraft $k = \frac{K}{40} = 4 \cdot 65$ Pfund. — Das in der Stunde verdampfte Wasser ist $M = 63 \cdot 7 \times S = 19 \cdot 75^{c'}$

Die Woolf'schen Maschinen arbeiten eben auch mit Expansion und Condensation und unterscheiden sich von den vorigen nur dadurch, daß die Woolf'schen Maschinen zwei Cylinder haben, einen kleinern, in welchen der Kesseldampf unmittelbar einströmt, und entweder gar nicht oder doch wenig expandirt wird, und sodann der Dampf nach geleisteter Wirkung im kleinen Cylinder, aus diesem in einen zweiten größeren zu einer neuen Wirkung überströmt, wo er die Expansion vollendet. Der Vortheil, den man hierdurch erreicht, besteht darin, daß die Summe der beiden Kolbendrücke viel weniger variabel ist, als der Druck auf die Kolbenfläche einer Maschine mit Expansion und Condensation und nur einem Cylinder, was zugleich einen gleichförmigeren Gang der Maschine und ein kleineres Schwungrad bedingt. Da also der bei einem Kolbenschub verbrauchte Dampf am Ende der Expansion im großen Cylinder allein enthalten ist, so wird eine solche Maschine gerade so viel Dampf verbrauchen, und deßhalb eben so viel Effect geben, wie eine Maschine mit Expansion und Condensation und einem Cylinder, wenn diese dieselbe Dampfspannung und Expansion und dieselbe Kolbenfläche und Kolbengeschwindigkeit wie der größere oder Expansionscylinder der Woolf'schen Maschine besitzt.

Zwar wird die Kolben- und Schieber-Reibung bei der Woolf-schen Maschine etwas größer sein, wenn auch die Differenz zwischen Vorder- und Hinterdruck auf den Kolben nie die Größe erreicht, wie bei Maschinen mit Einem Cylinder; dafür wird aber die Reibung der Maschine, da diese wegen gleichförmigerer Anstrengung nicht so massiv zu sein braucht, etwas geringer ausfallen; eben so wird der Dampfverlust nahe derselbe sein, weil jener im ersten Cylinder nicht absolut verloren geht, sondern den größten Theil seiner Arbeitsfähigkeit bei der Expansion im zweiten Cylinder abgibt. Nach all diesem ergibt sich, daß man ohne Fehler für Berechnung der Woolf'schen Maschine obige Tabellen und Formeln anwenden kann, wenn unter d und v der Kolbendurchmesser und die Kolbengeschwindigkeit des größeren Cylinders verstanden wird.

Hat man jedoch einmal diese zwei Größen d und v, so läßt sich leicht auch die Geschwindigkeit und der Durchmesser des kleineren Cylinders finden, wenn das beabsichtigte Verhältniß der Expansion im kleinen Cylinder festgestellt oder angenommen wird.

Beabsichtigt man nämlich im kleinen Cylinder nfache, im ganzen aber xfache Expansion, und sind k und **K** die Volumina des kleineren und größeren Cylinders, so folgt $k : K = n : x$ oder $k = \frac{n}{x} K$. Sind weiter l' und l, sowie d' und d die Kolbenschübe und Durchmesser, und v und v' die bezüglichen Kolbengeschwindigkeiten für den kleineren und größeren Cylinder, so ist eben auch

$$l' d'^2 : l d^2 = n : x \quad \text{oder} \quad d' = \sqrt{\frac{n\, l}{x\, l'}}\, d \qquad (1)$$

und

$$v' = \frac{l}{l'} v \qquad (2)$$

u. s. w.

P. F.

Mittheilungen vom Vereine.

Gehaltene Vorträge.

a. In der Versammlung am 14. Februar erklärte Hr. Sectionsrath Rittinger die von ihm construirten und verbesserten einachsigen Mönchkolbenpumpen mit und ohne Gestänge. Die wesentlichen Vortheile derselben bestehen darin, daß sie doppelt wirken, einen sehr kleinen Raum einnehmen, leicht und schnell gehoben und gesenkt werden können und lange (selbst in den sandreichsten Wässern 6—8 Wochen) ohne alle Reparatur aushalten. Die Steigeröhren können zugleich als Gestänge benützt werden.

Weiter lud Hr. Sectionsrath Rittinger die Vereinsmitglieder ein, in einer der nächsten Versammlungen die Vor- und Nachtheile der Niederdruck-Dampfmaschinen gegenüber den Hochdruckmaschinen zu besprechen, welche Anregung mit vielem Beifalle aufgenommen wurde.

b. Hr. Mechaniker C. E. Kraft zeigte ein Perspectiv-Lineal nach seiner Verbesserung von äußerst compendiöser Construction aus eigener Fabrik der Versammlung vor, und machte auf den wesentlichsten Vortheil der bequemen Uebertragbarkeit in Folge seiner bedeutenden Raumesverminderung aufmerksam, zugleich erwähnend, dafür Sorge getragen zu haben, dem Instrumente seine vormalige Solidität belassen und, was vorzüglich nothwendig sei, seiner Genauigkeit und Verläßlichkeit im geodätischen Gebrauche keinen Abbruch zugeführt zu haben. Der Herr Sprecher schloß endlich mit dem Ersuchen, dasselbe der Abtheilung für praktische Geometrie zur Prüfung und Berichterstattung zuzuweisen.

Uebersicht

der in Oesterreich im Laufe des Jahres 1856 theils neu verliehenen, theils verlängerten k. k. ausschließenden Privilegien.

Fortlaufende Nummer.	Name und Wohnort des Privilegiumsträgers.	Gegenstand des Privilegiums.	Datum der Privilegiums-Urkunde.	Dauer des Privilegiums bis zum gleichen Tage des Jahres.
				1800
431	Leigh John, Wundarzt zu Manchester (durch Friedrich Paget und Eduard Schmidt in Wien).	Anwendung gewisser Substanzen, um vegetabilische Gewebe und Garne, so wie Papier- und Wollzeuge zu planiren, und überhaupt zu appretiren.	5. Dec.	56—61.
432	Hutter H. J., Director einer Steinkohlenbergwerks-Unternehmung zu Paris (durch G. Märkl in Wien).	Verbesserung an Glasöfen in Verbindung mit einem stetigen Schmelz-Verfahren.	6. Dec.	56—59.
433	Märkl Georg, Privatbeamter in Wien.	Verbesserung an Erd- und Himmels-Kugeln.	5. Dec.	56—57.
434	Kellner Joh., befugter Schlosser in Wien.	An den ausschl. priv. feuerfesten Cassen Anwendung einer zur Zierlichkeit und vermehrten Sicherheit dienenden Verkleidung.	5. Dec.	56—57.
435	Landriani Fried., in Mailand.	Erfindung einer Methode, den Torf zu stechen.	5. Dec.	56—61.
436	Endris Joh. Christoph, in Wien.	Erzeugung von Kälte durch Verdampfen flüchtiger Flüssigkeiten im leeren Raume, Verdichtung der Dämpfe durch Druck und im fortgesetzten Wiederverdampfen und Wiederverdichten derselben Substanzen.	6. Dec.	56—58.
437	Wessely Anton, bürgerl. Friseur in Wien.	Neues Befestigungsmittel für Haartouren auf Gaze.	6. Dec.	56—57.
438	Bernhardt Jos., Chemiker zu Ober-St.-Veit nächst Wien.	Druckmaschine, womit jede beliebige Anzahl von Farben bei willkürlicher Größe des Dessins auf Kleiderstoffe gedruckt werden könne.	6. Dec.	56—57.
439	Weiner Jacob, Zeichner der priv. öst. Staatseisenbahn-Gesellschaft in Wien.	Verschluß bei feuerfesten, gegen Einbruch sichernden Cassen, Schreibpulten, Chatouillen für werthvolle Gegenstände durch einen neuen Feuerfalz.	6. Dec.	56—57.
440	Swogetinsky L., Maschinenfabriks-Gesellschafter zu Carolinenthal in Böhmen.	Bei zur Oelerzeugung verwendeten hydraulischen Pressen eine neue Ausdrückvorrichtung, um durch das Steigen des Pistons beim Auspressen des Saamenmehles das Herausdrücken der Kuchen aus dem schmiedeisernen Blechcylinder zu bewerkstelligen.	6. Dec.	56—57.
441	Meggenhofen Ed., Maschinenmeister und Bahn-Ingenieur zu Frankfurt a. M. (durch Karl Thun in Wien).	Manometer, welcher zugleich auch als Vacuum-Messer dienen könne.	9. Dec.	56—60.
442	Semsch Fr. Xav., gräflich Althan'scher Wirthschaftsrath, und Reichard A., gräfl. Althan'scher Oeconomie-Director zu Swoischitz in Böhmen.	Egge (Wiesenmoosegge), um das auf den Wiesen häufig vorkommende, der Grasnarbe schädliche und die Quantität des Grünfutters herabmindernde Moos mit verhältnißmäßig unbedeutendem Mühe- und Kostenaufwande zu entfernen.	9. Dec.	56—58.
443	Endris Joh. Christoph, in Wien.	Verbesserung in der Behandlung von Flachs, Hanf und anderem faserigen Materiale.	9. Dec.	56—58.
444	Grande Anton, Mechaniker in Turin (durch Dr. J. C. Fornara in Wien).	Erfindung einer Maschine zur Verwandlung der Maiskolbenspindeln in Mehl.	9. Dec.	56—57.
445	Riebauer Wilhelm, in Wien.	Erfindung eines Haaröles.	9. Dec.	56—57.
446	Märkl Georg, Privatbeamter in Wien.	Anlage und Construction des Oberbaues von Eisenbahnen.	9. Dec.	56—58.
447	Barat Pet. Phil. Cöl., Dr. der Medicin, und Barat Joh. Bapt., Advocat in Paris (durch G. Märkl in Wien).	Eine durch Dampf getriebene Maschine zum Urbarmachen und Beackern des Bodens.	10. Dec.	56—57.
448	Muschek Joh. G., Zahnarzt in Wien.	Zahnreinigungsmittel, „Zahnpasta" genannt.	10. Dec.	56—57.
449	Zavisics Sever., Dr. der Medicin u. Chirurgie in Wien.	Tragbare Dampf- und Dousch-Apparate, um sowohl heiße Luftbäder, als auch einfache, Wasserdampf-, Arzneidampf- oder Gasbäder zu erzeugen.	10. Dec.	56—57.
450	Cacciami Carl Maria, zu Asti (durch Jos. Civelli in Mailand).	Dampf-Destillations-Apparat für alkoholhältige Flüssigkeiten und Maischen aller Art.	10. Dec.	56—61.
451	Bucher Ad. Max, Director der königl. Feuerlöschanstalt zu Leipzig (durch A. Heinrich, Secret. des n. ö. Gewerbvereins in Wien).	Erfindung eines Feuerlösch-Verfahrens.	10. Dec.	56—57.
452	Ramauf Theresia, zu Gumpoldskirchen in Niederösterreich.	Apparat zur Verdampfung von Wasser und anderen flüchtigen Stoffen, zur Concentration aller Auflösungen, Extracte u. s. w. und zur Trocknung wasserhältiger Körper geeignet.	10. Dec.	56—57.
453	Mathies Wilhelm, Chemiker in Wien.	Wasser-Hebmaschine (Paternosterwerk) mittelst Rohr und Kettentransmissionszug ohne Ende.	10. Dec.	56—57.
454	Endris Joh. Christoph, in Wien.	Dampfkessel und Dampfapparat, bei welchen durch gewisse Anordnung und Gestalt der Siedröhren eine raschere, sicherere und öconomischere Erzeugung von Dampf erreicht werde.	9. Dec.	56—58.
455	Fischer Franz, Steinkohlengewerke zu Gratz.	Aus Magnesit und anderen talghältigen, aber kalk- und kalifreien Mineralien als: Talg, Talgschiefer und Serpentin, eine feuerfeste Masse, und hieraus feuerfeste Ziegel unter dem ihrem Mischungsverhältnisse entsprechenden Namen, als: „reine Talgziegel, thonhältige Talgziegel, kieselhältige Talgziegel, dann thon- und kieselhältige Talgziegel" zu erzeugen.	9. Dec.	56—57.

Fortlaufende Nummer.	Name und Wohnort des Privilegiumträgers.	Gegenstand des Privilegiums.	Datum der Privilegiums-Urkunde.	Dauer des Privilegiums bis zum gleichen Tage des Jahres.
				1860
456	Endris Joh. Christoph, in Wien.	Erzeugung von Glas- und Thonwaaren durch Anwendung natürlicher Datoliths.	9. Dec.	56—58.
457	Prost Fried. Ant., in Paris (durch G. Märkl in Wien).	Verbesserungen in der Weberei.	9. Dec.	56—57.
458	Ward Thomas Freiherr von, Gutsbesitzer in Wien.	Verbesserung an der Hussey'schen Mähmaschine, wodurch die Bewegung der Maschine genauer und Stockungen nicht ausgesetzt sei, die Taglöhner zum Wegtragen des gemähten Getreides erspart werden, und die Maschine mittelst eines eigens construirten Wagens leicht transportirt werden könne.	10. Dec.	56—61.
459	Endris Joh. Christoph, in Wien.	Erzeugung von Metall-Schraubenmuttern mittelst einer eigenthümlich eingerichteten Maschine.	9. Dec.	56—58.
460	Schlesinger Sigmund, Chemiker in Wien.	Verbesserung in der Erzeugung des Saflor-Carmines.	14. Dec.	56—58.
461	Barth Jacob, zu Krems in Nieder-Oesterreich.	Erzeugungsart und Construction von Blumen-, Trauben- und Reben-Scheeren.	14. Dec.	56—57.
462	Starke Gustav, Mechaniker am polytechnischen Institute in Wien.	Verbesserung an dem privilegirten Polar-Planimeter (Flächenmesser), wodurch die Construction dieses Instrumentes vereinfacht, und die Genauigkeit seiner Leistungen erhöht werde.	17. Dec.	56—57.
463	Offermann Julius, Betriebs-Director bei der privileg. Brünn-Rossitzer Eisenbahn in Brünn.	Mittel, sowohl den Kesselstein aus Dampfkesseln zu beseitigen, als auch zu verhindern, daß sich derselbe an die Kesselwände ansetze.	17. Dec.	56—57.
464	Endris Joh. Christoph, in Wien.	Verbesserung bei der Fabrikation von Eisen und Stahl, bestehend im Entkohlen und Raffiniren des rohen Eisens.	24. Dec.	56—58.
465	Schlesinger Sigmund, Chemiker in Wien.	Gelber Farbestoff aus Kreuzbeeren ohne das nachtheilige, in den Saamenkörnern enthaltene Fett.	24. Dec.	56—58.
466	Kühn Karl u. Eduard, technische Chemiker in Wien.	Rothes Eisenoxyd (Rouge) zum Poliren der Metalle zu erzeugen, und als Nebenproducte salzsaures Ammonium (Salmiak) und salpetersaures Kali (Salpeter) zu gewinnen.	24. Dec.	56—57.
467	Beauché Louis, Fabrikant zu Offenbach (durch G. Märkl in Wien).	Vorrichtung, zur schnellen Verfertigung der Cigarren geeignet.	24. Dec.	56—57.
468	Newill John, in New-York (durch J. Ch. Endris in Wien).	Umwandlung von Stangen- oder hämmerbarem Eisen in Gußstahl durch die einzige Operation des Schmelzens.	24. Dec.	56—58.
469	Malecot Leon, Ingenieur zu Brüssel (durch Karl Kanitz, privil. Großh. in Wien.	System für Eisenbahn-Oberbau, wornach auf Eisenbahnen ebenso Wägen mit gewöhnlichen Radfelgen (ohne Randleisten) wie auch die bisher üblichen Eisenbahnwägen verkehren können.	24. Dec.	56—59.
470	Kasper Corn., Privatbeamter in Wien.	Mittelst einer Maschine Umflechtungen für verschiedene Formen, selbst conische, z. B. für Zuckerhüte aus Schilf, Bimsen, Stroh, Laub u. s. w. zu erzeugen.	25. Dec.	56—57.
471	Stichler Franz, Ingenieur in Wien.	Selbstwirkende veränderliche Dampfabsperrung für alle Arten von Dampfmaschinen mit Kurbelbewegung.	26. Dec.	56—57.
472	Kapiczka Karl, Friseur in Prag.	Neuer Gazestoff zur Unterlage für Perücken, Platten rc. rc., alle bisher gebräuchlichen übertreffend.	26. Dec.	56—57.
473	Dall'Aglio Vincenz, Staatsbeamter in Wien.	Dampf-Wasch- und Bleich-Apparat für möglichste Schonung der Waare und ohne Anwendung eines Aetzmittels.	30. Dec.	56—57.
474	Bürk Joh., Uhrmacher zu Schwenningen (durch Fr. Kollmer, Handelsagent in Wien).	An tragbare Uhren anzubringende Vorrichtung, wodurch Nachtwächter und andere Diener auf ihren Gängen genau controlirt werden.	30. Dec.	56—57.
475	Herschmann Jos., Handlungsgeschäftsführer und Jasper Lud., Maschinenfabrikant zu Hütteldorf.	Biegeleisen mit Gas zu beheizen, und deren Hitzegrad genau zu regeln.	30. Dec.	56—57.
476	Greis John, Realitätenbesitzer in Wien.	Erzeugung von Seilergespinnsten mittelst Combination mehrerer Doppeltreibräder und neuer Zusammenlauf- und Schnurhebe-Maschine.	30. Dec.	56—57.
477	Kasper Corn., Privatbeamter in Wien.	Apparate, um Seide und andere spinnfähige Stoffe zu doubliren und erstere zu zwirnen (Dickens-Methode genannt).	30. Dec.	56—61.
478	Hofer Heinr., Spinnereibesitzer zu Kaisersberg (durch G. Märkl in Wien).	Regulirungs-Apparat beim Zurichten aller zum Spinnen bestimmten Stoffe.	30. Dec.	56—57.
479	Endris Joh. Christoph, in Wien.	Pumpen mit mehreren Cylindern und einem gemeinschaftlichen Klappenkasten.	30. Dec.	56—58.
480	Brünner Gustav, Oelglashändler in Wien.	Photogen- (Hydrocarbur-) und Camphin- (Kiefergas-) Lampen, mittelst Construction und Lufteinführung bei gleicher Dochtstärke ein viel weißeres und größeres Licht zu erzeugen.	30. Dec.	56—57.
481	Siemens W., und Halske J. G., in Berlin (durch G. Märkl in Wien).	Erfindung eines Zeiger-Telegraphen.	30. Dec.	56 59.
		Verlängerte Privilegien.		
482	Szaloky Ludwig.	Erzeugung von Cylinder-Blasbälgen.	17. Nov.	54—57.
483	Fischer Jean Paul.	Wohnhäuser mit besonders construirtem Dachstuhle und Sturzbögen.	13. Nov.	55—57.

Fortlaufende Nummer.	Name und Wohnort des Privilegiumträgers.	Gegenstand des Privilegiums.	Datum der Privilegiums-Urkunde.	Dauer des Privilegiums bis zum gleichen Tage des Jahres.
				1800
484	Kniely Moritz.	Reinigungsmethode für benütztes Maschinen-Putzzeug.	18. Nov.	53—57.
485	Stephan Leopold.	Zur Fabrikation der Gutta-Percha dienende Maschinen.	8. Nov.	47—57.
486	Srba Anton und Pessina Joseph.	Erzeugung eines Filzes zur Verfertigung von Hüten.	4. Jänn.	56—59.
487	Kravani Karl.	Preßmaschine zur Kopf-Erzeugung bei Schrauben und Nieten.	29. Nov.	54—57.
488	Schmidt Barbara.	Fußsocken aus einem Stücke mit nur einer Nath.	20. Nov.	54—57.
489	Laporta Etienne.	Kerzen aus Pflanzenstoffen.	30. Nov.	55—57.
490	Bölkner Karl.	Construction der Dampfhämmer.	20. Nov.	55—57.
491	Lo Presti Ludwig, Baron.	Baum-Ausrodungs-Maschine.	23. Nov.	51—57.
492	Keusch Johann und Drinkwelder Dr. Franz.	Kremser Rebmesserscheeren und alle Arten Scheeren zu erzeugen.	23. Nov.	51—58.
493	Winkler Michael.	Verbesserung des unterm 22. Septbr. 1853 privil. „Schilder-Oeldruckes."	22. Nov.	54—57.
494	Zuppinger Alexis.	Verbesserte Spindel zum Zwirnen in Seidenmühlen.	30. Nov.	53—57.
495	Krause Adolph.	Erzeugung der Wachsleinwand und des Lackleders.	29. Nov.	54—57.
496	Worechowsky Wenzel.	Verbesserung der Centimal-Brückenwage.	12. Febr.	56—59.
497	Zeh Johann.	Berg-Naphta zu technischen Zwecken unmittelbar verwendbar zu machen.	2. Dec.	53—57.
498	Zuppinger Alexis.	Verbesserung der unterm 23. October 1851 privil. Spindel zum Spinnen und Zwirnen der Baumwolle, des Flachses, der Seide und der Wolle.	2. Dec.	53—57.
499	Knaust Wilhelm.	Ventilhähne für Feuerspritzen, Pumpen und verwandte Maschinen.	17. Dec.	51—57.
500	Scherer Alois.	Verbesserung des Wagenfettes (Wagenschmiere).	7. Dec.	55—57.
501	Klein Constantin.	Erzeugung von fournirten und massiven Parquetten.	27. Nov.	54—59.
502	Quirin Gebr. Georg, Nicol. u. Alexis.	Verbesserung ihrer privilegirt gewesenen Drahtstiften-Maschine.	4. Dec.	53—58.
503	Roth von Telegd Antonia.	Apparate zur künstlichen Ausbrütung der Eier.	27. Dec.	54—57.
504	Saidan Wenzel.	Verbesserung seiner unterm 29. Sept. 1855 privil. Namensfiegel.	27. Dec.	55—57.
505	Daina Franz.	Neue Methode beim Abhaspeln der Seide.	4. Jänn.	56—60.
506	Ditmar Rudolph.	Verbesserung in der Asphalt- und Teresin-Pflasterung.	18. Dec.	49—58.
507	Rott Heinrich.	Musikinstrument, „Miniaturhorn" genannt.	22. Jänn.	55—58
		Neu verliehene Privilegien.		
		1 8 5 7.		
508	Kasper Corn., Privatbeamter in Wien.	Abfallfäden von verschiedenen Längen zu sondern und zu sortiren „Jongh's Methode" genannt.	2. Jänn.	57—62.
509	Tubi Graziano, Dr. der Rechte in Mailand.	Apparat zum Remorquiren der Schiffe stromaufwärts.	2. Jänn.	57—62.
510	Gaillard Nap., zu Paris (durch G. Märkl in Wien).	Erzeugung von Schuhen und Stiefeln aus Guttapercha allein oder in Verbindung mit anderm geeigneten Materiale.	4. Jänn.	57—58.
511	Schlesinger Simon, in Wien.	Erzeugung von elastischen Kreponkappen aus Baum- und Schafwolle.	5. Jänn.	57—58.
512	Pimont Prosper, österr. Consularagent zu Rouen (durch Joh. Ant. Freih. v. Sonnenthal in Wien).	Verbesserung an der ihm unterm 15. Juni 1856 privil. Erfindung in der Erzeugung einer Massa zum Ueberziehen von Mauerwerk, Holz, Eisen u. dgl., welche die Wärme einschließt, aber auch als Verbindungsmittel von Mauerwerk benützt werden könne.	5. Jänn.	57—58.
513	Bougleux Heinrich, Handelsmann zu Livorno (durch Fr. Moretti, Hof- und Gerichtsadvocat in Wien).	Durch Anbringung von Kugeln an beliebigen Kesseln mit Ersparung von Brennstoff Flüssigkeiten zum Sieden zu bringen.	5. Jänn.	57—59.
514	Hoffmann Jac., Mechaniker in Wien.	Zucker-Verkleinerungs-Maschine, womit jeder Zuckerhut in kürzester Zeit verkleinert wird.	5. Jänn.	57—58
515	Klotz Jos., Prof. der Mechanik u. Maschinenlehre am ständischen Joanneum zu Gratz.	Sicherheitsventilen mit einfachem und doppeltem Sitze für Dampfkessel u. dgl. eine Einrichtung zu geben zur Sicherheit gegen Explosionen und zur Lüftung.	5. Jänn.	57—59.
516	Aubenas Aug. Alois Just., in Paris (durch Corn. Kasper in Wien).	Zwirn-Apparat, „Croiseur-Aubenas," zum Abhaspeln, Spinnen, Drehen und Doubliren der Seide und anderer Faserstoffe.	6. Jänn.	57—58.
517	Saettler Gustav, in Wien.	Cigarren-Etuis aus dünnen Metallplatten mit oder ohne Beigabe eines Brieftäschchens, ein Zündrequisitenfach, eine Vorrichtung zum Anzünden und Löschen der Cigarren u. s. w.	6. Jänn.	57—58.
518	Ferko Franz, Parfumeur in Wien.	Sicher wirkendes Wanzenvertilgungsmittel.	6. Jänn.	57—58.
519	Liebisch Philipp, in Wien.	Hermetisch schließbare Retirad-Apparate einfacher Construction sowohl an allen Aborten, wie auch als Zimmer-Retiraden benützbar.	6. Jänn.	57—58.
520	Hartmayer Joh., Huthändler in Pest.	Männer-Seidenhüte, „unverwüstliche Seidenhüte," mit doppeltem Filzgestelle gegen Schweiß und Haarfett unverwüstlich gemacht.	6. Jänn.	57—58.
521	Endris Joh. Christoph, in Wien.	Musikdruck mit Typen, wobei eine Seite Musikdruck durch Abdruck von zwei verschiedenen besonders eingerichteten Platten bewirkt werde.	10. Jänn.	57—59.

Verantwortlicher Redacteur: Eduard Schmidl. — In Commission der Carl Gerold'schen Buchhandlung, innere Stadt Nr. 625

Druck von Carl Gerold's Sohn.